



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Пространственное распределение концентраций загрязняющих
веществ в Санкт-Петербурге в осенний период»

Исполнитель Рогозина Арина Дмитриевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Крюкова Светлана Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой



(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна

«01» июля 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

Введение.....	3
1 Общая информация об атмосфере и загрязняющих веществах.....	5
1.1 Основное представление об атмосфере и ее структура.....	5
1.2 Ключевые загрязняющие вещества в атмосфере	9
1.3 Источники выделения загрязняющих веществ в атмосферу	11
1.4 Воздействие метеопараметров на уровень загрязнения атмосферы	13
2 Мониторинг экологического состояния атмосферы	15
2.1 Техники исследования экологического состояния атмосферы	15
2.2 Инструменты для измерения экологических показателей в атмосфере	20
2.3 Автоматизированные узлы мониторинга атмосферы в Санкт-Петербурге	23
3 Исследование пространственного размещения загрязняющих веществ осенью в Санкт-Петербурге	30
3.1 Анализ средних значений загрязняющих веществ	30
3.2 Построение полей пространственного распределения концентраций загрязняющих веществ	42
3.3 Исследование взаимосвязи между распределением загрязняющих веществ в атмосфере и метеорологическими условиями	52
Заключение	59
Список литературы	61

Введение

Загрязнение воздуха является одной из наиболее серьезных глобальных экологических угроз. С увеличением численности населения и ростом числа автотранспортных средств, а также с развитием промышленности, острая необходимость в постоянном мониторинге качества атмосферного воздуха становится все более очевидной. Ежедневно в атмосферу выбрасываются тысячи тонн загрязняющих веществ, что оказывает значительное влияние на экологическое состояние нашей планеты.

Международная организация труда определяет загрязнение воздуха как наличие в нем веществ, вредных для здоровья или опасных по другим причинам, независимо от их физической формы. Загрязнение воздуха оказывает негативное влияние не только на здоровье человека, но и на всю окружающую среду. Важно не только оценивать количество и тип вредных выбросов, но и понимать их воздействие на жизнедеятельность человека и экосистемы в целом.

Антропогенное воздействие на атмосферу в наше время стало колоссальным, что серьезно ухудшило экологическую обстановку. Для крупных мегаполисов, таких как Санкт-Петербург, жизненно важно, чтобы все виды деятельности человека, включая промышленную, транспортную, химическую и другие, находились под строгим контролем с точки зрения их влияния на качество и состав атмосферного воздуха. Без надлежащего контроля и своевременных мер по снижению уровня загрязнения, ситуация может выйти из-под контроля, что приведет к серьезным последствиям для здоровья людей и состояния окружающего мира.

Целью данной работы является изучение пространственного распределения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга в осенний период 2023 года и анализ влияния метеорологических факторов на их распространение.

Объектом исследования является Санкт-Петербург, а предметом – пространственное распределение загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге за осенний период 2023 года.

Для достижения поставленных целей следует решить следующие задачи:

- составить диаграммы распределения концентрации загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге за осенний период;
- разработать карты распределения концентрации загрязняющих веществ;
- создать 3D модели пространственного распределения концентрации загрязняющих веществ;
- дать оценку влиянию метеорологических факторов на концентрацию загрязняющих веществ.

Структура выпускной работы включает три главы с соответствующими подразделами, заключение и список использованной литературы. В первой главе рассматриваются общие сведения об атмосфере. Вторая глава посвящена основам экологического мониторинга. Третья глава содержит анализ содержания загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга. В заключении работы представлены основные выводы по результатам исследования.

1 Общая информация об атмосфере и загрязняющих веществах

1.1 Основное представление об атмосфере и ее структура

Атмосфера (в метеорологии) определяется как газовая оболочка, окружающая Землю и удерживаемая её гравитацией. Она играет важнейшую роль в поддержании жизни на планете, регулируя температуру и защищая от вредного космического излучения. Основными компонентами атмосферы являются азот (~ 78%) и кислород (~ 21%), а также небольшие количества других газов, таких как аргон, углекислый газ и водяной пар, содержание которых может варьироваться с высотой. Эта газовая смесь создает давление на поверхности Земли, которое изменяется в зависимости от высоты.

Атмосфера также играет важную роль в метеорологических процессах, таких как образование облаков, осадков, ветров и климатических изменений. Она разделена на слои, каждый из которых имеет уникальные характеристики и влияет на погодные явления и условия на поверхности Земли.

Кроме того, атмосфера является важной средой для жизни и поддержания экологического равновесия. Она участвует в биогеохимических циклах, включая круговорот углерода, азота и других элементов, необходимых для жизни на Земле.

Таким образом, атмосфера представляет собой не только газовую оболочку планеты, но и сложную систему, влияющую на множество аспектов жизни на Земле, от погодных условий до экологического здоровья планеты в целом.

У земной атмосферы несколько слоев, каждый имеет уникальную функцию и характеристики.

Атмосфера имеет слоистую структуру по вертикали, которая определяется в основном особенностями распределения температуры. Это распределение зависит от географического положения, сезона, времени суток и других факторов. [1].

Среднегодовое вертикальное распределение температуры в атмосфере:

Тропосфера представляет собой низший слой атмосферы, начинающийся от земной поверхности и простирающийся до высот около 8–10 км в полярных регионах, 10–12 км в умеренных широтах и 16–18 км в тропиках. Она содержит более 80% массы всей атмосферы и примерно 99% водяного пара. В тропосфере происходят ключевые метеорологические процессы, такие как конденсация водяного пара, формирование облаков, осадков и турбулентность. Температура в этом слое обычно уменьшается с высотой на 6,5–7 °C на каждый километр.

Стратосфера располагается над тропосферой, где температура начинает повышаться с высотой. Это связано с наличием озона, который поглощает ультрафиолетовое излучение Солнца, что приводит к теплоизоляционным свойствам этого слоя. В нижней части стратосферы температура остается почти неизменной, далее начинает возрастать до примерно 50–55 км, где располагается стратопause.

Мезосфера находится на высоте от 50–55 км до 80–85 км относительно поверхности Земли. В этом слое температура снова начинает убывать с высотой. В мезосфере находится мезопause, где температура летом составляет около 150–160 К, а зимой может достигать 200–230 К. Этот слой также известен как зона термосферической инверсии, где вертикальный градиент температуры может быть очень высоким.

Термосфера находится над мезосферой, где температура быстро повышается с высотой. В термосфере происходит поглощение корпускулярной и рентгеновской радиации Солнца. Температура в этом слое может достигать относительно высоких значений, но из-за редкости газов здесь тепло не передаётся так же эффективно, как в нижних слоях атмосферы.

Экзосфера – это верхний слой атмосферы, где атомы и молекулы постепенно диссоциируются и диффундируются в космическое пространство. Экзосфера является границей между атмосферой Земли и космосом, и здесь происходит постепенный переход к межпланетному пространству.

Таким образом, строение атмосферы Земли является сложной и важной составляющей для поддержания жизни на планете, способствующее защите от

вредного излучения, контролю климата и поддержке жизненно важных условий для организмов.

Среднегодовое вертикальное распределение температуры в атмосфере изображено на рис. 1.1.

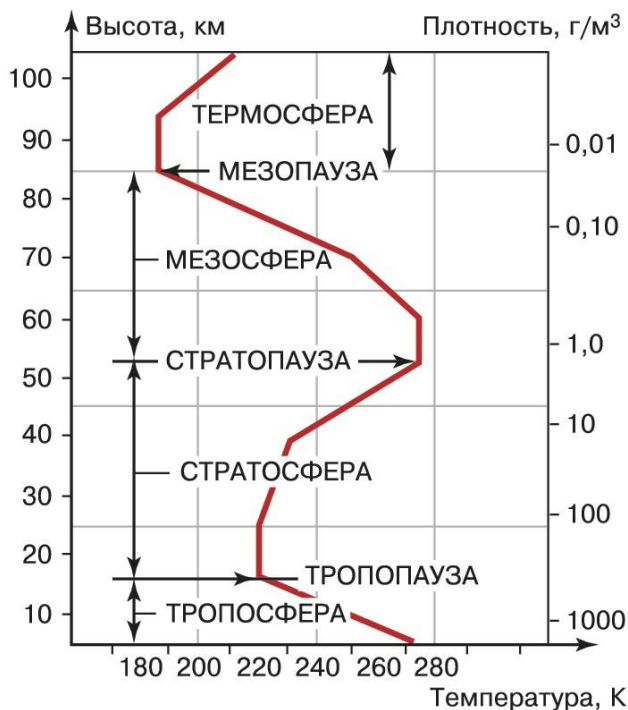


Рисунок 1.1 – Среднегодовое вертикальное распределение температуры в атмосфере

Химический состав атмосферы Земли до высоты около 100 км остается практически одинаковым, с постоянной средней молекулярной массой воздуха, равной примерно 29. Ближе к поверхности атмосфера в основном состоит из азота (около 78,1% по объему) и кислорода (примерно 20,9%), а также содержит небольшие количества аргона, углекислого газа, неона и других постоянных и переменных компонентов.

Кроме того, в атмосфере можно обнаружить небольшие концентрации озона, оксидов азота, аммиака, радона и других веществ. Основной состав атмосферы стабилен во времени и однороден по географическим районам. Водяной пар и озон распределяются неравномерно в пространстве и времени, но играют важную роль в атмосферных процессах, несмотря на их малую концентрацию.

На высотах выше 100–110 км молекулы кислорода, углекислого газа и водяного пара начинают разлагаться, что снижает молекулярную массу воздуха. На высоте около 1000 км начинают преобладать легкие газы, такие как гелий и водород, а выше атмосфера плавно переходит в межпланетное пространство.

Одним из важнейших переменных компонентов атмосферы является водяной пар, который поступает в атмосферу через испарение с поверхности воды и влажной почвы, а также благодаря транспирации растений. Его содержание колеблется от 2,6% в тропиках до 0,2% в полярных регионах. С высотой его концентрация быстро уменьшается, уменьшаясь вдвое на высоте 1,5–2 км. В умеренных широтах в вертикальном столбе атмосферы содержится около 1,7 см «слоя осадочной воды». Конденсация водяного пара ведет к образованию облаков, из которых выпадают осадки в виде дождя, града или снега.

Озон, 90% которого сосредоточено в стратосфере (между 10 и 50 км), играет критическую роль в защите биосферы, поглощая жесткое УФ-излучение с длиной волны менее 290 нм. Его общее содержание в атмосфере варьируется в зависимости от широты и сезона от 0,22 до 0,45 см. В озоновых дырах, наблюдаемых весной в Антарктике с начала 1980-х годов, содержание озона может снижаться до 0,07 см. Его распределение подвержено годовым изменениям, с максимумом весной и минимумом осенью, причем амплитуда этих колебаний меньше в тропиках и увеличивается в высоких широтах.

Углекислый газ также является важным переменным компонентом атмосферы, и его содержание за последние 200 лет увеличилось на 35%, в основном из-за антропогенных факторов. Его концентрация варьируется по широте и сезону в зависимости от фотосинтеза растений и растворимости в морской воде (согласно закону Генри, растворимость газа в воде уменьшается с повышением её температуры).

Атмосферный аэрозоль, представляющий собой твердые и жидкие частицы размером от нескольких нанометров до десятков микрометров, играет значительную роль в формировании климата планеты. Существуют аэрозоли

естественного и антропогенного происхождения. Аэрозоль образуется в результате газофазных реакций, из продуктов жизнедеятельности растений, хозяйственной деятельности человека, вулканических извержений, а также при подъёме пыли ветром с поверхности планеты, особенно из пустынных регионов, и из космической пыли, попадающей в верхние слои атмосферы. Большая часть аэрозоля сосредоточена в тропосфере, а аэрозоль от вулканических извержений образует так называемый слой Юнге на высоте около 20 км. Наибольшее количество антропогенного аэрозоля поступает в атмосферу от автотранспорта и ТЭЦ, химических производств, сжигания топлива и прочих источников. В некоторых районах состав атмосферы существенно отличается от обычного воздуха, что потребовало создания специальных служб для мониторинга и контроля за уровнем загрязнения атмосферного воздуха [1].

1.2 Ключевые загрязняющие вещества в атмосфере

Основными вредными веществами, составляющими загрязнение атмосферного воздуха, являются следующие компоненты:

- угарный газ (CO) — бесцветное и не имеющее запаха токсичное вещество, образующееся в результате неполного сгорания угля, газа, нефти и других видов ископаемого топлива. При вдыхании угарный газ образует соединения с гемоглобином крови, что приводит к удушью и, в больших концентрациях, может быть смертельным;
- углекислый газ (CO_2) — бесцветный газ с кисловатым запахом, являющийся одним из главных источников парникового эффекта. Он в значительной мере способствует изменению климата, вызывая увеличение температуры на поверхности Земли;
- диоксид серы (SO_2) — образуется при сжигании серосодержащих топлив и переработке сернистых руд. Это вещество участвует в формировании кислотных дождей и оказывает негативное влияние на дыхательную и сердечно-сосудистую системы при длительном воздействии;

– оксиды азота (NO) — образуются в процессе сгорания топлива и при получении азотных удобрений. Основным источником оксидов азота являются выбросы автомобильного транспорта. Они являются активным компонентом смога и способствуют возникновению хронических заболеваний дыхательных путей;

– диоксид азота (NO_2) — это один из наиболее опасных оксидов азота. Он образуется в атмосфере в результате реакции между оксидом азота и кислородом. Диоксид азота является сильным окислителем и может вызывать раздражение дыхательных путей, способствовать развитию астмы и других хронических респираторных заболеваний. В высоких концентрациях NO_2 может также оказывать негативное воздействие на растения, снижая их способность к фотосинтезу и вызывая повреждения тканей. Основными источниками диоксида азота являются автомобильные выхлопы, промышленные выбросы и сжигание ископаемого топлива;

– озон (O_3) — токсичное вещество с характерным резким запахом, являющееся сильным окислителем. Озон медленно, но систематически повреждает организм, вызывая такие заболевания, как атеросклероз, астма, бронхит, а также поражения нервной и иммунной систем;

– свинец (Pb) — тяжелый металл серебристо-серого цвета, большая часть которого попадает в атмосферу из выхлопных газов автотранспорта. Свинец токсичен для центральной нервной системы человека;

– углеводороды ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) — органические соединения, включающие различные комбинации углерода и водорода. Они попадают в атмосферу как несгоревший бензин или побочный продукт химической промышленности. Углеводороды оказывают негативное влияние на экосистемы и здоровье человека, вызывая различные нарушения [2].

Эти загрязнители атмосферного воздуха имеют широкий спектр воздействия на окружающую среду и здоровье человека, требуют

систематического контроля и сокращения их выбросов для защиты окружающей среды и общественного здоровья.

1.3 Источники выделения загрязняющих веществ в атмосферу

Загрязнители воздуха делятся на три основные категории:

а) Химические загрязнители:

1) газообразные вещества – это могут быть как природные газы, так и антропогенные (искусственного происхождения). К ним относятся угарный газ (CO), углекислый газ (CO₂), диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO_x), метан (CH₄).

2) аэрозоли – это мелкие частицы твердых и жидких веществ, взвешенные в воздухе. К ним относятся сульфаты, нитраты, углеводородные частицы и другие промышленные выбросы;

б) биологические загрязнители:

1) вирусы: микроскопические патогены, вызывающие заболевания;

2) бактерии: простейшие организмы, некоторые из которых могут быть патогенными и вызывать болезни;

3) споры грибов: микроскопические частицы, продуцируемые грибами, которые могут вызывать аллергические реакции и инфекции;

4) токсины: вещества биологического происхождения, которые могут быть токсичными для человека и других организмов. Примеры включают микотоксины, вырабатываемые плесневыми грибами;

в) физические загрязнители:

1) пылевые частицы включают частицы земли, песка и других материалов, поднимаемые в воздух естественными процессами или человеческой деятельностью;

2) шумовое загрязнение происходит из-за чрезмерного шума от транспорта, промышленных процессов, строительных работ и других источников;

3) электромагнитное излучение может включать радиоволны, микроволны и другие виды излучений, исходящие от электронных устройств, линий электропередач и других источников;

4) радиация – это ионизирующее излучение от природных источников (например, радон) и искусственных (например, ядерные отходы, медицинское оборудование).

Значительный вклад в загрязнение воздуха вносят процессы сжигания, происходящие в промышленности, энергетике и на транспорте. В результате сжигания топлива образуются различные продукты сгорания, такие как оксиды углерода (CO), водяные пары (H₂O), диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO и NO₂) и другие. После их выброса в атмосферный воздух, эти вещества могут претерпевать дополнительные химические превращения и наносить значительный вред окружающей среде и здоровью людей. Это может включать разрушение озонового слоя, образование смога и другие экологические проблемы.

Одним из наиболее опасных загрязнителей воздуха являются твердые частицы размером менее 2,5 микрометров (PM_{2.5}). Эти мелкие частицы могут проникать в легкие и вызывать серьезные заболевания дыхательной системы. Из-за своего малого размера PM_{2.5} трудно контролировать, и они могут способствовать образованию злокачественных опухолей и других серьезных заболеваний [4].

PM₁₀ — это еще один класс взвешенных частиц, которые также опасны для здоровья. PM₁₀ включает частицы размером до 10 микрометров, которые могут быть вдыхаемыми и оседать в легких. Основные источники PM₁₀ включают выбросы от транспортных средств, промышленности, строительства и сельского хозяйства, а также природные факторы, такие как распыление пыли и песка. Эти частицы могут вызывать кашель, затрудненное дыхание и повышать риск развития или обострения болезней дыхательных путей, таких как бронхиальная астма, а также оказывать негативное влияние на сердечно-сосудистую систему.

Контроль за PM_{10} является одной из важнейших задач в области улучшения качества воздуха. Это включает регулирование стандартов качества воздуха и использование технологий очистки воздуха в различных отраслях.

Свинец, который раньше широко использовался в автомобильном топливе, красках и трубах, является опасным тяжелым металлом. Он может вызывать повреждение мозга и заболевания крови. Летучие органические соединения (ЛОС), такие как метан, являются важными загрязнителями воздуха. Метан, например, является природным парниковым газом, концентрация которого увеличивается в результате человеческой деятельности.

В целом, понимание и управление загрязнителями воздуха являются ключевыми для защиты здоровья человека и сохранения окружающей среды.

1.4 Воздействие метеопараметров на уровень загрязнения атмосферы

Метеорологические параметры оказывают значительное влияние на степень и характер загрязнения атмосферы. Ниже приведены основные метеорологические факторы и их воздействие:

а) температура воздуха:

1) инверсия температуры — это явление, при котором температура воздуха с высотой не падает, а повышается, что приводит к застою воздуха у поверхности земли и удержанию загрязняющих веществ в приземном слое;

2) высокие температуры- способствуют более активным химическим реакциям, увеличивая концентрацию озона и других фотохимических загрязнителей;

б) ветер:

1) скорость и направление ветра - ветер способствует рассеиванию загрязняющих веществ, снижая их концентрацию на определенных территориях. Сильные ветра могут переносить загрязнения на большие расстояния, вызывая проблемы в отдаленных регионах;

2) штиль - в отсутствие ветра загрязняющие вещества концентрируются в нижних слоях атмосферы, что увеличивает уровень загрязнения воздуха;

в) атмосферное давление:

1) высокое давление - обычно связано с устойчивыми атмосферными условиями, что приводит к низкому вертикальному перемешиванию воздуха и накоплению загрязнений в приземном слое;

2) низкое давление - способствует восходящим воздушным потокам, что помогает рассеиванию загрязняющих веществ в более высокие слои атмосферы;

г) осадки:

1) дождь и снег - осадки эффективно очищают воздух от твердых частиц и газообразных загрязнителей, приводя их на землю;

2) отсутствие осадков - увеличивает концентрацию загрязняющих веществ в воздухе, особенно в засушливых регионах;

д) влажность воздуха:

1) высокая влажность - способствует образованию вторичных загрязняющих веществ, таких как кислотные дожди. Также высокая влажность может способствовать формированию туманов, которые задерживают загрязняющие вещества в приземном слое;

2) низкая влажность - может способствовать увеличению количества взвешенных частиц, так как сухие почвы и пыль легче поднимаются в воздух;

е) солнечная радиация:

1) интенсивность солнечной радиации - влияет на фотохимические реакции в атмосфере, приводя к образованию озона и других фотохимических загрязнителей.

Каждый из этих метеорологических факторов может по-разному влиять на уровни загрязнения в различных регионах и условиях, что делает учет метеорологических параметров важной частью управления качеством воздуха и прогнозирования его состояния.

2 Мониторинг экологического состояния атмосферы

2.1 Техники исследования экологического состояния атмосферы

Мониторинг атмосферного воздуха представляет собой систему наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и происходящими в нем процессами, а также оценку и прогноз его состояния (согласно закону «Об охране атмосферного воздуха») [5].

Для наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, комплексной оценки и прогноза его состояния, а также обеспечения органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и населения актуальной информацией о загрязнении атмосферного воздуха, Правительство Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления организуют государственный мониторинг атмосферного воздуха. Они обеспечивают его реализацию в пределах своей компетенции на соответствующих территориях Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований.

Государственный мониторинг атмосферного воздуха является частью государственного мониторинга окружающей среды и осуществляется федеральными органами исполнительной власти в области охраны окружающей среды и другими органами исполнительной власти в пределах своей компетенции. Порядок осуществления мониторинга установлен уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.

Территориальные органы федерального органа исполнительной власти в области охраны окружающей среды совместно с территориальными органами федерального органа исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных областях определяют и периодически пересматривают перечень объектов, владельцы которых обязаны осуществлять мониторинг атмосферного воздуха.

В нашей стране проводятся работы по гигиенической регламентации допустимого уровня содержания примесей в атмосферном воздухе. Обоснованию гигиенических нормативов предшествуют многоплановые комплексные исследования на лабораторных животных, а в случае оценки ольфакторных реакций организма на действия загрязняющих веществ — на добровольцах. В таких исследованиях применяются новейшие методы, разработанные в биологии и медицине.

В настоящее время установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) более чем для 500 веществ в атмосферном воздухе.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — это максимальная концентрация примеси в атмосферном воздухе, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает и не окажет на него вредного влияния (включая отдаленные последствия) и на окружающую среду в целом.

Гигиенические нормативы должны обеспечивать физиологический оптимум для жизни человека, и поэтому к качеству атмосферного воздуха у нас в стране предъявляются высокие требования. Поскольку кратковременные воздействия не ощутимых по запаху вредных веществ могут вызывать функциональные изменения в коре головного мозга и зрительном анализаторе, были введены значения максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДК_{мр}). Учитывая вероятность длительного воздействия вредных веществ на организм человека, также были введены значения среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК_{сс}).

Таким образом, для каждого вещества установлено два норматива:

- максимально разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{мр}), осредненная за 20-30 минут, предназначенная для предупреждения рефлекторных реакций у человека;
- среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{сс}), предназначенная для предотвращения общетоксического, мутагенного, канцерогенного и другого действия при неограниченно длительном дыхании.

Значения ПДК_{мр} и ПДК_{сс} для наиболее часто встречающихся в атмосферном воздухе примесей приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) в атмосферном воздухе населенных мест

Вещество	ПДК, мг/м ³		Класс опасности
	Максимальная разовая	Средняя суточная	
Диоксид азота	0,085	0,04	2
Диоксид серы	0,5	0,05	3
Оксид углерода	5	3	4
Пыль (взвешенные частицы)	0,5	0,15	3
Аммиак	0,2	0,04	4
Кислота серная	0,3	0,1	2
Фенол	0,01	0,003	2
Ртуть металлическая	-	0,0003	1

Классы опасности веществ:

- 1 — чрезвычайно опасные;
- 2 — высокоопасные;
- 3 — умеренно опасные;
- 4 — малоопасные.

Эти классы разработаны для условий непрерывного вдыхания веществ без изменения их концентрации во времени. В реальных условиях возможны значительные увеличения концентраций примесей, которые могут привести в короткий промежуток времени к резкому ухудшению состояния человека [6].

Экологический мониторинг атмосферы включает в себя множество методов, направленных на изучение состояния атмосферного воздуха,

выявление загрязняющих веществ и оценку их влияния на окружающую среду и здоровье человека. В зависимости от целей и задач мониторинга, используются различные методы, которые можно классифицировать следующим образом:

а) методы пробоотбора и лабораторного анализа:

1) пассивные методы отбора проб: включают использование пассивных поглотителей, которые поглощают загрязняющие вещества из воздуха без использования насосов. Пробы анализируются в лаборатории с использованием газовой хроматографии, масс-спектрометрии и других аналитических методов;

2) активные методы отбора проб: включают использование насосов для протягивания воздуха через фильтры или абсорбционные среды. Пробы также анализируются в лаборатории;

б) инструментальные методы мониторинга:

1) газоанализаторы: используются для непрерывного измерения концентраций газообразных загрязняющих веществ, таких как диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), угарный газ (CO) и озон (O_3). Современные газоанализаторы обеспечивают высокую точность и позволяют вести мониторинг в режиме реального времени;

2) аэрозольные спектрометры: применяются для определения концентраций и размеров твердых частиц (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) в воздухе. Эти приборы позволяют оценивать распределение частиц по размерам и их массовую концентрацию;

в) методы дистанционного зондирования:

1) спутниковые наблюдения: используются для глобального мониторинга загрязнения воздуха, оценки трансграничного переноса загрязняющих веществ и анализа климатических изменений. Спутники оснащены спектрометрами и другими сенсорами, позволяющими измерять концентрации газов и аэрозолей в атмосфере [7];

2) лидары и радиолокационные системы: применяются для мониторинга вертикального распределения загрязняющих веществ и изучения процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы;

г) биомониторинг:

1) использование растений и лишайников: некоторые виды растений и лишайников являются индикаторами загрязнения воздуха и используются для оценки уровня загрязнения на локальном уровне. Изменения в их состоянии и химическом составе могут указывать на присутствие токсичных веществ в атмосфере;

д) компьютерное моделирование и прогнозирование:

1) математические модели: используются для прогнозирования распространения загрязняющих веществ, оценки их концентраций в различных условиях и анализа влияния различных факторов на качество воздуха. Модели могут учитывать метеорологические данные, источники выбросов и топографию местности;

2) ГИС-технологии: географические информационные системы (ГИС) позволяют интегрировать данные мониторинга, моделирования и картографирования, что обеспечивает более полное понимание пространственного распределения загрязняющих веществ и их воздействия на окружающую среду.

Комплексное применение этих методов позволяет эффективно отслеживать состояние атмосферного воздуха, выявлять источники загрязнения, оценивать их влияние и разрабатывать меры по улучшению качества воздуха и охране окружающей среды.

На сегодняшний день существует множество различных методов исследования окружающей среды и выявления превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) в атмосфере. Эти методы можно разделить на две основные группы:

а) аэрокосмические методы включают использование искусственных спутников Земли для создания снимков и определения наличия примесей в атмосфере путем их анализа. Спутниковые данные позволяют проводить мониторинг на глобальном уровне, отслеживать изменения в составе атмосферы и выявлять источники загрязнения;

б) наземные методы включают биологический и физико-химические методы:

1) биологический мониторинг представляет собой систему продолжительного наблюдения, оценки и прогнозирования изменений, происходящих в биоте. Он осуществляется путем отслеживания наличия или исчезновения различных видов организмов, их состояния, численности, а также изменений ареала обитания под воздействием антропогенных факторов. Биологический мониторинг является одним из ключевых методов в организации экологического мониторинга окружающей среды. Его сложная структура включает в себя различные подпрограммы на уровне организации биологических систем;

2) физико-химические методы включают использование приборов и лабораторных анализов для определения концентраций загрязняющих веществ в воздухе. Эти методы позволяют получать точные количественные данные о наличии и концентрациях вредных веществ [8].

Основное отличие между биологическим мониторингом и физико-химическими измерениями заключается в том, что биологический мониторинг позволяет выявлять и определять биологически значимые антропогенные воздействия. В то время как физико-химические измерения дают возможность получить качественные и количественные характеристики загрязнений, биологический мониторинг дает более полное представление о влиянии этих загрязнений на живые организмы и экосистемы в целом.

2.2 Инструменты для измерения экологических показателей в атмосфере

Экологические мониторинговые системы созданы для постоянного автоматизированного наблюдения за качеством воздуха в крупных городах. Основными элементами таких систем являются посты мониторинга, которые собирают данные и отправляют их на центральный сервер. Чаще всего мониторинг охватывает следующие параметры: оксид азота (NO), диоксид азота (NO₂), аммиак (NH₃), диоксид серы (SO₂), оксиды углерода (CO), сероводород

(H₂S), озон (O₃), формальдегид (CH₂O), а также аэрозольные частицы (PM₁₀ и PM_{2.5}).

Приборы для экологического мониторинга атмосферы предназначены для постоянного и точного измерения различных загрязняющих веществ в воздухе. Они делятся на несколько категорий в зависимости от контролируемых параметров и используемых методов анализа [9]:

а) газоанализаторы:

1) газоанализаторы оксидов азота (NO и NO₂) - эти приборы измеряют концентрации оксида азота и диоксида азота. Используются методики электрохимического анализа и хемилюминесцентные сенсоры;

2) газоанализаторы диоксида серы (SO₂) - для измерения содержания диоксида серы применяют ультрафиолетовую флуоресценцию или электрохимические сенсоры;

3) газоанализаторы оксида углерода (CO) - такие приборы часто используют нерассеянное инфракрасное излучение (NDIR) для определения уровня CO в воздухе;

4) газоанализаторы аммиака (NH₃) - используют электрохимические сенсоры или спектроскопию для выявления содержания аммиака;

5) газоанализаторы сероводорода (H₂S) - определяют концентрации сероводорода, применяя электрохимические методы анализа;

6) газоанализаторы озона (O₃) - используют ультрафиолетовую абсорбцию для измерения концентраций озона в воздухе;

б) анализаторы твердых частиц (PM₁₀ и PM_{2.5}):

1) пылемеры - измеряют концентрации твердых частиц размером до 10 микрон (PM₁₀) и до 2,5 микрон (PM_{2.5}) с использованием лазерной дифракции или метода осаждения на фильтры;

2) мониторы аэрозольных частиц - применяют оптические сенсоры для подсчета и классификации частиц по размеру;

в) метеорологические станции.

Основные параметры, измеряемые метеорологическими станциями:

а) температура воздуха. Для измерения используются термометры на основе терморезисторов или термопар. Температура влияет на химические реакции в атмосфере и распределение загрязняющих веществ;

б) относительная влажность. Для измерения используются гигрометры на основе емкостных или резистивных сенсоров. Влажность влияет на процессы конденсации и испарения, а также на распространение аэрозольных частиц;

в) атмосферное давление. Для измерения используются барометры на основе мембранных или цифровых датчиков. Давление влияет на погодные условия и циркуляцию воздушных масс, что в свою очередь влияет на распределение загрязнений;

г) скорость и направление ветра. Для измерения используются анемометры (механические, ультразвуковые) и флюгеры. Ветер распространяет загрязняющие вещества и определяет зоны их максимальной концентрации;

д) количество осадков. Для измерения используются дождемеры (опрокидывающиеся ведра, весовые сенсоры). Осадки очищают атмосферу от загрязняющих веществ, способствуя их вымыванию;

е) интенсивность солнечной радиации. Для измерения используются пирометры и фотометрические сенсоры. Солнечная радиация влияет на фотохимические реакции в атмосфере, такие как образование озона;

ж) Видимость. Для измерения используются лидары и лазерные дальнометры. Видимость важна для оценки воздействия тумана и дыма на качество воздуха.

Типы метеорологических станций:

- портативные станции - эти устройства включают сенсоры для измерения температуры, влажности, скорости и направления ветра, а также атмосферного давления. Они помогают в анализе распространения загрязняющих веществ;

- автоматизированные станции мониторинга качества воздуха;

- стационарные станции- устанавливаются в городах и промышленных зонах для постоянного мониторинга и передачи данных о

состоянии воздуха в реальном времени на серверы для анализа и принятия решений.

Эти приборы позволяют экологам и соответствующим службам следить за состоянием атмосферного воздуха, выявлять источники загрязнения и принимать меры по улучшению качества воздуха, защищая здоровье населения и окружающую среду.

2.3 Автоматизированные узлы мониторинга атмосферы в Санкт-Петербурге

Автоматизированные станции контроля атмосферы в Санкт-Петербурге представляют собой комплекс устройств и технологий, предназначенных для непрерывного мониторинга качества воздуха в различных частях города. Эти станции являются ключевыми элементами системы экологического мониторинга, позволяя оперативно отслеживать и анализировать уровень загрязнения воздуха, а также принимать меры по его улучшению [10].

Единая государственная система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга включает в себя государственную наблюдательную сеть, сформированную Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, и территориальную систему наблюдений, созданную Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга. В рамках территориальной системы наблюдений Комитетом создана автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ-АВ), в которую входят 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Эти станции расположены во всех 18 административных районах города.

На автоматических станциях АСМ-АВ, в зависимости от программы мониторинга, круглосуточно (каждые 20 минут) измеряются следующие параметры: взвешенные частицы диаметром менее 2,5 мкм ($PM_{2.5}$) или взвешенные частицы диаметром менее 10 мкм (PM_{10}), диоксид серы (SO_2), оксид

углерода (CO), диоксид азота (NO₂), оксид азота (NO), озон (O₃). На станциях, оснащённых автоматизированными хроматографами, дополнительно определяются фенол и ароматические углеводороды (бензол, изомеры ксилолов (о-, м-, п-), толуол, этилбензол).

АСМ-АВ обеспечивает ежедневное (по состоянию на утро) получение информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

На рис. 2.1 изображена карта размещения автоматических станций.



Рисунок 2.1 – Карта размещения автоматических станций

Адреса расположения автоматических станций:

- №1 - ул. Профессора Попова, д.48;
- №2 - г. Колпино, Красная ул., д.1А;
- №3 - ул. Карбышева, д.7;

- №4 - Малоохтинский пр., д.98;
- №5 - пр. Маршала Жукова, д.30, корп.3;
- № 6 – пр. КИМа, 26 лит. А;
- № 7 - ул. Шпалерная, д. 56;
- № 8 - ул. Новосельковская, 23;
- № 9 - Малая Балканская ул., д. 54;
- № 10 - Московский пр., д. 19;
- № 11 - г. Сестрорецк, ул. М. Горького, д. 2;
- № 12 - ул. Пестеля, д.1;
- № 13 – Индустриальный пр., д.64;
- № 14 – Уткин пр., д 16;
- № 15 - Кронштадт, ул. Ильмянинова, д.4;
- № 16 - ул. Севастьянова, д.11;
- № 17 - г. Пушкин, Тиньков пер., д.4;
- № 18 - ул. Ольги Форш, д.6;
- № 19- пр. Ветеранов, дом 167, к. 6/1;
- № 20 - ул. Тельмана, д.24;
- № 21 – г. Ломоносов, ул. Федюнинского, 3;
- №22 – Канонерский остров, 21, стр. 1;
- №23 – пр. Динамо, 44;
- №24 – В.О. Средний пр.,74;
- №25 – пос. Металлострой, Железнодорожная ул., 13.

Основной принцип контроля качества состояния окружающей среды — это «сетевой» подход, который предполагает использование комплекса приборов для измерения параметров окружающей среды, объединённых в посты и станции. Эти посты и станции формируют информационную сеть с централизованным сбором и обработкой данных, осуществляющих контроль в заданном регионе [11].

В Санкт-Петербурге осуществляется мониторинг атмосферного воздуха с помощью Автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ-АВ).

АСМ-АВ представляет собой комплекс взаимодействующих технических и программных средств, организационных процедур и услуг, обеспечивающих функционирование необходимого оборудования и программного обеспечения для государственного экологического мониторинга атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге [12].

Эта автоматизированная система была создана Администрацией Санкт-Петербурга в соответствии с техническим заданием «Автоматизированная система контроля и управления качеством атмосферного воздуха Санкт-Петербурга» 1996 года. Первоначально система носила название «Автоматизированная система контроля и управления качеством атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (система УКВ)», которое действовало до 2006 года. Формирование и поддержание работы АСМ-АВ осуществляется Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности.

Существует множество методов отбора загрязняющих веществ в атмосфере, включая ручной отбор проб, автоматические методы, а также активные и пассивные пробоотборники с последующим лабораторным анализом проб и др.

Выбор метода измерения зависит от расположения пункта наблюдения и специфики мониторинга.

Конструктивные и технологические особенности анализаторов играют важную роль в получении достоверных данных. Необходимо минимизировать влияние этих особенностей на концентрации измеряемых примесей.

Для автоматических анализаторов и активных пробоотборников важно, чтобы концентрации примесей оставались неизменными при прохождении от воздухозаборника до измерительной ячейки.

Надежность приборов также имеет принципиальное значение для обеспечения постоянства наблюдений и получения достоверных средних значений. Согласно требованиям ВОЗ, для достоверности среднесуточных значений количество достоверных измерений должно составлять не менее 75 % от общего числа измерений с более коротким периодом осреднения.

При создании системы мониторинга атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге была достигнута основная цель: для приоритетных загрязняющих веществ были выбраны технологии измерений с разрешением по времени, соответствующим времени их негативного воздействия на здоровье. Это позволяет учитывать как возможные краткосрочные острые воздействия, так и долгосрочные хронические последствия. Измерения на станциях для приоритетных загрязняющих веществ проводятся ежедневно, круглосуточно и непрерывно (всего 72 измерения в сутки для каждого вещества, что составляет 26,280 измерений в год), с осреднением в 20 минут, что обеспечивает регулярное получение оперативной информации о уровне загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге основными примесями, а также накопление и анализ данных [13].

Структура АСМ-АВ включает два уровня: измерительную часть и информационно-технический сервис.

Измерительная часть АСМ-АВ охватывает следующие компоненты: испытательную лабораторию, объединенную с центром сбора, хранения и обработки данных мониторинга, управляющую работой станций; измерительную сеть, включающую автоматические станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, интегрированные посты контроля радиационной обстановки (ПКРО), автоматические устройства отбора проб, автоматические метеорологические станции, а также передвижные лаборатории мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

В настоящее время в состав АСМ-АВ входят: испытательная лаборатория, 25 автоматических станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха (из них 22 станции павильонного типа и 3 беспавильонные станции), 2

стационарных поста наблюдений (СПН), 3 автоматические метеорологические станции, 3 передвижные лаборатории мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, передвижная метрологическая лаборатория и 2 передвижные технические лаборатории [14].

На рисунке 2.2 изображен список и местоположение станций автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха (АСМ-АВ) в Санкт-Петербурге на ноябрь 2023 года

№ п/п	Наименование, № станции	Адрес расположения, район	Примечания, измеряемые параметры
1.	Испытательная лаборатория	Санкт-Петербург, пр. Кима, д.26, лит. А Санкт-Петербургское государственное геологическое унитарное предприятие "Специализированная фирма "Минерал" (ГТУП "СФ "Минерал")	Лицензия Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на деятельность в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях, включая в себя определение уровня загрязнения воздуха, подготовку и представление потребителям аналитической и расчетной информации о загрязнении атмосферного воздуха, формирование и ведение банков данных о загрязнении атмосферного воздуха.
2. Автоматические станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха (АСМ-АВ)			
2.1	АСМ-АВ №1	Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д.48 (Петроградский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, PM2.5, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен, температура атмосферного воздуха, скорость и направление ветра, влажность атмосферного воздуха, атмосферное давление
2.2	АСМ-АВ №2	Санкт-Петербург, г. Колпино, Красная ул., д.1А (Колпинский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, ксилол (BTEX), бенз(а)пирен
2.3	АСМ-АВ №3	Санкт-Петербург, ул. Нарышева, д.7 (Выборгский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, PM10, бенз(а)пирен
2.4	АСМ-АВ №4	Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д.98 (Красногвардейский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, PM10, бенз(а)пирен
2.5	АСМ-АВ №5	Санкт-Петербург, пр. Маршала Жукова, д.30, корп. 3 (Невский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, PM10, бенз(а)пирен.
2.6	АСМ-АВ №6	Санкт-Петербург, В.О., пр. Кима, д.26, лит.А (Василеостровский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX).
2.7	АСМ-АВ №7	ул. Шпалерная, д.56 (Центральный район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, O3, PM10, бенз(а)пирен.
2.8	АСМ-АВ №8	Санкт-Петербург, пр. Королева, д.36/8 (Приморский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.9	АСМ-АВ №9	Санкт-Петербург, Малая Балканская ул., д.54 (Фрунзенский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM10, бенз(а)пирен.
2.10	АСМ-АВ №10	Санкт-Петербург, Московский пр., д.19 (Адмиралтейский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, бенз(а)пирен
2.11	АСМ-АВ №11	Санкт-Петербург, г.Сестрорецк, ул. М. Горького, д.2 (Нуротный район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM2.5, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.12	АСМ-АВ №12	Санкт-Петербург, ул. Пестеля, д.1 (Центральный район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2.
2.13	АСМ-АВ №13	Санкт-Петербург, шоссе Революции, д.84 (Красногвардейский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.14	АСМ-АВ №14	Санкт-Петербург, г. Зеленогорск, пляж "Золотой", д.1 (Нуротный район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен, температура атмосферного воздуха, скорость и направление ветра, влажность атмосферного воздуха, атмосферное давление.
2.15	АСМ-АВ №15	Санкт-Петербург, г. Кронштадт, ул. Ильминина, д.4 (Кронштадтский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM2.5, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.16	АСМ-АВ №16	Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, д.11 (Московский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, PM2.5, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола, бенз(а)пирен.
2.17	АСМ-АВ №17	Санкт-Петербург, г. Пушкин, Тиньков пер., д.4 (Пушкинский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, O3, PM10, бенз(а)пирен.
2.18	АСМ-АВ №18	Санкт-Петербург, ул. Ольги Форш, д.6 (Калининский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, O3, PM10, бенз(а)пирен.
2.19	АСМ-АВ №19	Санкт-Петербург, пр. Маршала Жукова, д.55 (Красносельский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, O3, PM10, бенз(а)пирен.
2.20	АСМ-АВ №20	Санкт-Петербург, ул. Тельмана, д.24 (Невский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.21	АСМ-АВ №21	Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Федюнинского, д.3 (Петродворцовый район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, PM10, бенз(а)пирен, температура атмосферного воздуха, скорость и направление ветра, влажность атмосферного воздуха, атмосферное давление.
2.22	АСМ-АВ №22	пос. Воейково (Всеволожский район Ленинградской области)	CO, NO, NO2, O3, PM2.5.
2.23	АСМ-АВ №23	Санкт-Петербург, пр. Динамо, дом 44 (Петроградский район)	CO, NO, NO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.24	АСМ-АВ №24 (предусмотрено размещение и начало функционирования с 01.01.2017г.)	Санкт-Петербург, В.О., Университетская наб., д. 7-9 (на территории Санкт-Петербургского государственного университета) (Василеостровский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
2.25	АСМ-АВ №25	Санкт-Петербург, пос.Металлострой, Железнодорожная ул., дом 13-Б (Колпинский район)	мощность дозы гамма-излучения, CO, NO, NO2, SO2, O3, PM10, ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен.
3.	3 (три) передвижные лаборатории	Осуществляют маршрутные наблюдения по программе, утвержденной Комитетом	NO, NO2, CO, SO2, PM10, PM2.5, NH3, O3, бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола (BTEX), бенз(а)пирен, фенол, формальдегид, температура атмосферного воздуха, скорость и направление ветра, влажность; атмосферного воздуха, атмосферное давление, мощность дозы гамма-излучения

Условные обозначения: NO - оксид азота, NO2 - диоксид азота, CO - оксид углерода, SO2 - диоксид серы, PM10 -частицы взвешенных веществ размером 10 мкм и менее, PM2.5 - частицы взвешенных веществ размером 2.5 мкм и менее, NH3 - аммиак, O3 - озон.

Рисунок 2.2 – Список и местоположение станций автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха (АСМ-АВ) в Санкт-Петербурге на ноябрь 2023 года

3 Исследование пространственного размещения загрязняющих веществ осенью в Санкт-Петербурге

3.1 Анализ средних значений загрязняющих веществ

Информацию для исследования можно получить на официальном сайте экологического портала Санкт-Петербурга [15].

Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ выражены в долях среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК_{сс}) и усреднены до уровня среднемесячных. Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ, таких как CO, NO₂, PM_{2.5} и PM₁₀ за осенний период 2023 года представлены в табл. 3.1 - 3.4. В таблицах по вертикали номера станций, по горизонтали загрязняющие вещества. Красным отмечены максимальные значения концентраций в долях ПДК_{сс}.

Таблица 3.1 – Средние значения концентрации загрязняющих веществ за сентябрь 2023 г.

Концентрация в долях ПДК _{сс}					
ЗВ № станции	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	0,15	0,35	-	-	0,21
2	0,09	0,1	0,17	-	-
3	0,11	0,27	-	0,06	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	0,11	0,31	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0,1	0,41	0,46	0,27	-
9	0,11	0,33	0,24	0,39	-
10	0,16	0,13	-	-	-
11	0,1	0,07	0,5	-	0,23
12	0,1	0,28	-	-	-
13	0,12	-	-	0,17	-
14	0,11	0,3	0,3	0,09	-
15	0,1	0,06	0,35	-	0,16
16	0,11	0,25	-	-	0,19
17	0,1	0,08	0,43	0,14	-
18	0,11	0,4	0,28	0,09	-
19	0,1	0,18	0,1	-	-
20	0,13	0,21	-	0,17	-
21	0,1	0,07	-	-	0,12
22	0,21	0,34	0,26	0,33	0,3
23	0,12	0,25	0,36	-	0,17
24	0,09	0,22	0,37	-	0,33
25	0,1	0,16	0,29	0,22	-

Таблица 3.2 – Средние значения концентрации загрязняющих веществ за
октябрь 2023 г.

Концентрация в долях ПДК _{сс}					
№ станции \ ЗВ	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	0,12	0,29	-	-	0,07
2	0,08	0,10	0,13	-	-
3	0,10	0,24	-	0,05	-
4	-	-	-	-	-
5	0,10	0,19	0,18	0,15	-
6	0,11	0,29	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0,10	0,44	0,43	0,14	-
9	0,10	0,27	0,22	0,21	-
10	0,20	0,13	-	-	-
11	0,10	0,06	0,44	-	0,12
12	0,10	0,26	-	-	-
13	0,11	-	-	0,12	-
14	0,10	0,24	0,34	0,06	-
15	0,10	0,07	0,28	-	0,07
16	0,10	0,25	-	-	0,16
17	0,10	0,08	0,33	0,10	-
18	0,10	0,36	0,24	-	-
19	0,10	0,20	0,07	-	-
20	0,13	0,18	-	0,10	-
21	0,09	0,10	-	-	0,07
22	0,10	0,29	0,21	0,15	0,22
23	0,10	0,23	0,41	-	0,11
24	0,10	0,23	0,33	-	0,13
25	0,10	0,17	0,26	0,06	-

Таблица 3.3 – Средние значения концентрации загрязняющих веществ за
ноябрь 2023 г.

Концентрация в долях ПДК _{сс}					
№ станции \ ЗВ	СО	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}
1	0,10	0,30	-	-	0,43
2	0,09	0,11	0,11	-	-
3	0,10	0,26	-	0,20	-
4	-	-	-	-	-
5	0,10	0,05	0,12	0,23	-
6	0,13	0,35	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0,10	0,20	0,30	0,20	-
9	0,10	0,29	0,11	0,30	-
10	0,18	0,15	-	-	-
11	0,10	0,08	0,38	-	0,24
12	-	-	-	-	-
13	0,15	-	-	0,20	-
14	-	-	-	-	-
15	0,10	0,10	0,21	-	0,11
16	0,10	0,36	-	-	0,61
17	0,10	0,30	0,20	0,40	-
18	0,13	0,28	0,12	0,18	-
19	0,13	0,24	0,17	-	-
20	0,13	0,21	-	0,15	-
21	0,10	0,12	-	-	0,08
22	0,10	0,39	0,25	0,13	0,35
23	0,11	0,33	0,15	-	0,15
24	0,08	0,31	0,21	-	0,19
25	0,10	0,19	0,20	0,05	-

Таблица 3.4 – Средние значения концентрации загрязняющих веществ за осень 2023 г.

Концентрация в долях ПДК _{сс}					
№ станции \ ЗВ	СО	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	0,14	0,32	-	-	0,17
2	0,08	0,11	0,14	-	-
3	0,11	0,26	-	0,06	-
4	-	-	-	-	-
5	0,10	0,11	0,12	0,19	-
6	0,12	0,32	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0,10	0,42	0,44	0,21	-
9	0,10	0,30	0,19	0,30	-
10	0,18	0,13	-	-	-
11	0,10	0,07	0,44	-	0,21
12	0,10	0,28	-	-	-
13	0,12	-	-	0,16	-
14	0,11	0,27	0,32	0,08	-
15	0,10	0,05	0,28	-	0,11
16	0,10	0,29	-	-	0,28
17	0,10	0,09	0,39	0,13	-
18	0,11	0,35	0,22	0,16	-
19	0,11	0,20	0,13	-	-
20	0,13	0,20	-	0,14	-
21	0,09	0,10	-	-	0,09
22	0,12	0,34	0,24	0,20	0,29
23	0,11	0,27	0,30	-	0,14
24	0,09	0,25	0,31	-	0,19
25	0,10	0,18	0,23	0,18	-

Диаграммы распределения концентраций загрязняющих веществ СО, NO₂, построенные на основе данных таблиц №3.1-3.4, представлены на рисунках № 3.1 – 3.4.

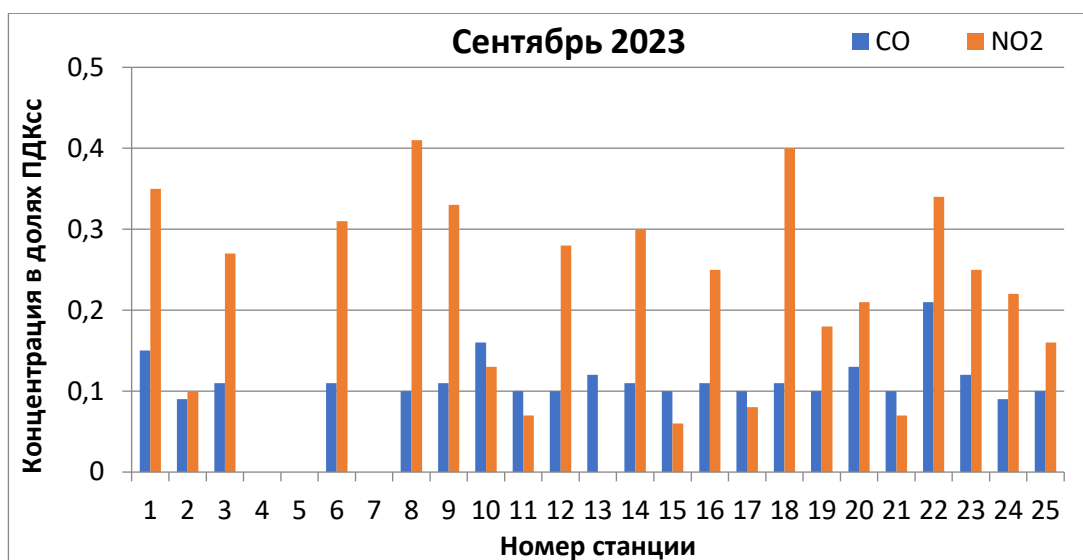


Рисунок 3.1 – Распределение концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂ в сентябре 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂:

- максимальное значение CO было зафиксировано на станции №22 (Канонерский остров, 21, стр. 1) и составляло 0,21 ПДК_{сс};
- минимально значение CO было зафиксировано на станции №2 (г. Колпино, Красная ул., д.1А) и составляло 0,09 ПДК_{сс};
- максимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №8 (ул. Новосельковская, дом 23) и составляло 0,41 ПДК_{сс};
- минимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №15 (Кронштадт, ул. Ильмянинова, д.4) и составляло 0,06 ПДК_{сс}.

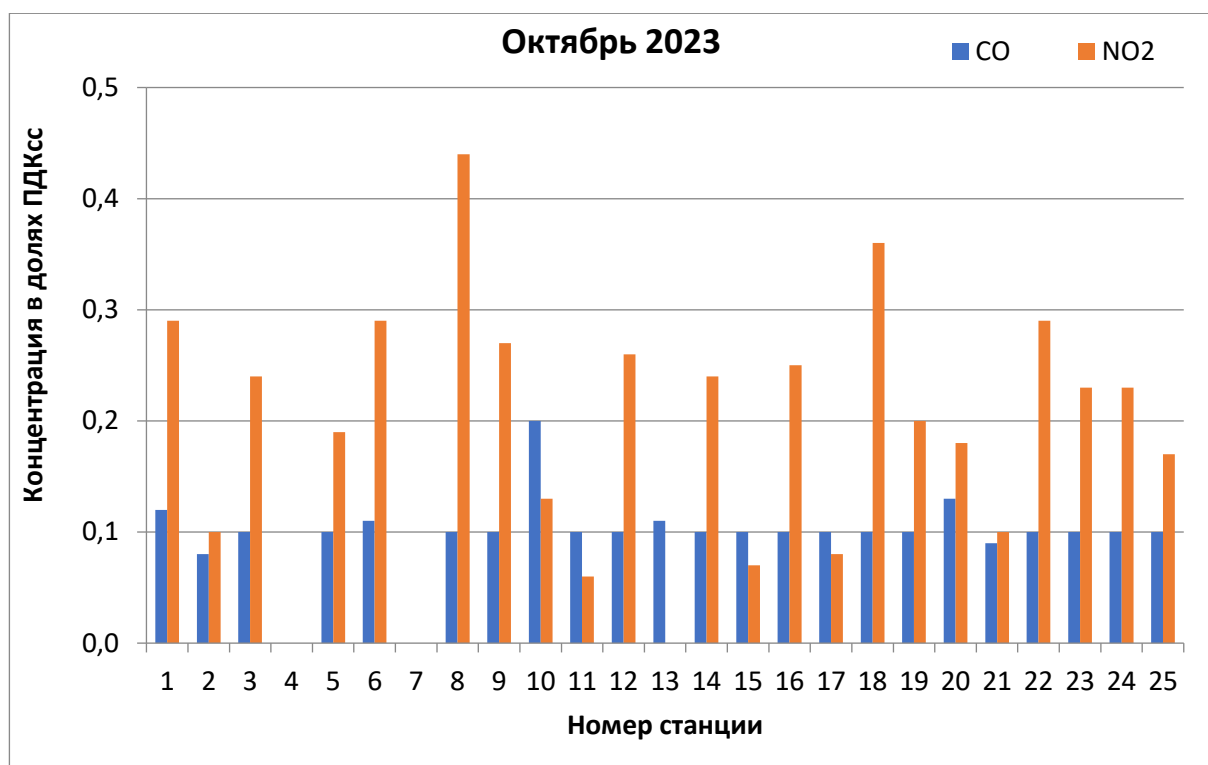


Рисунок 3.2 – Распределение концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂ в октябре 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂:

- максимальное значение CO было зафиксировано на станции №10 (Московский пр., дом 19) и составляло 0,20 ПДК_{сс};
- минимально значение CO было зафиксировано на станции №2 (г. Колпино, плотина через Комсомольский канал, в районе ул. Колпинская) и составляло 0,08 ПДК_{сс};
- максимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №8 (ул. Новосельковская, дом 23) и составляло 0,44 ПДК_{сс};
- минимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №11 (г. Зеленогорск, Приморское шоссе, 570) и составляло 0,06 ПДК_{сс}.

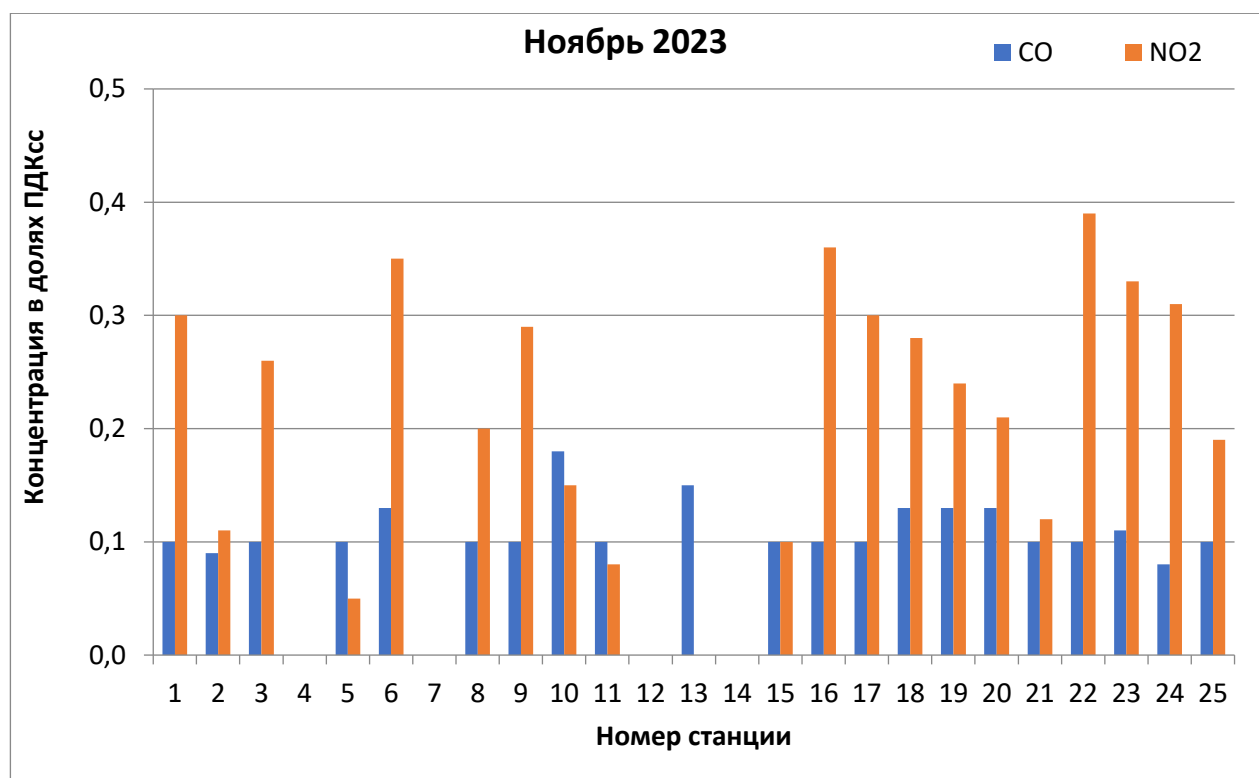


Рисунок 3.3 – Распределение концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂ в ноябре 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂:

- максимальное значение CO было зафиксировано на станции №10 (Московский пр., дом 19) и составляло 0,18 ПДК_{сс};
- минимально значение CO было зафиксировано на станции №24 (В.О.Средний пр., дом 74) и составляло 0,08 ПДК_{сс};
- максимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №22 (Канонерский остров, дом 21, строение 1) и составляло 0,39 ПДК_{сс};
- минимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №5 (пр. Маршала Жукова, дом 30, корп. 3) и составляло 0,05 ПДК_{сс}.

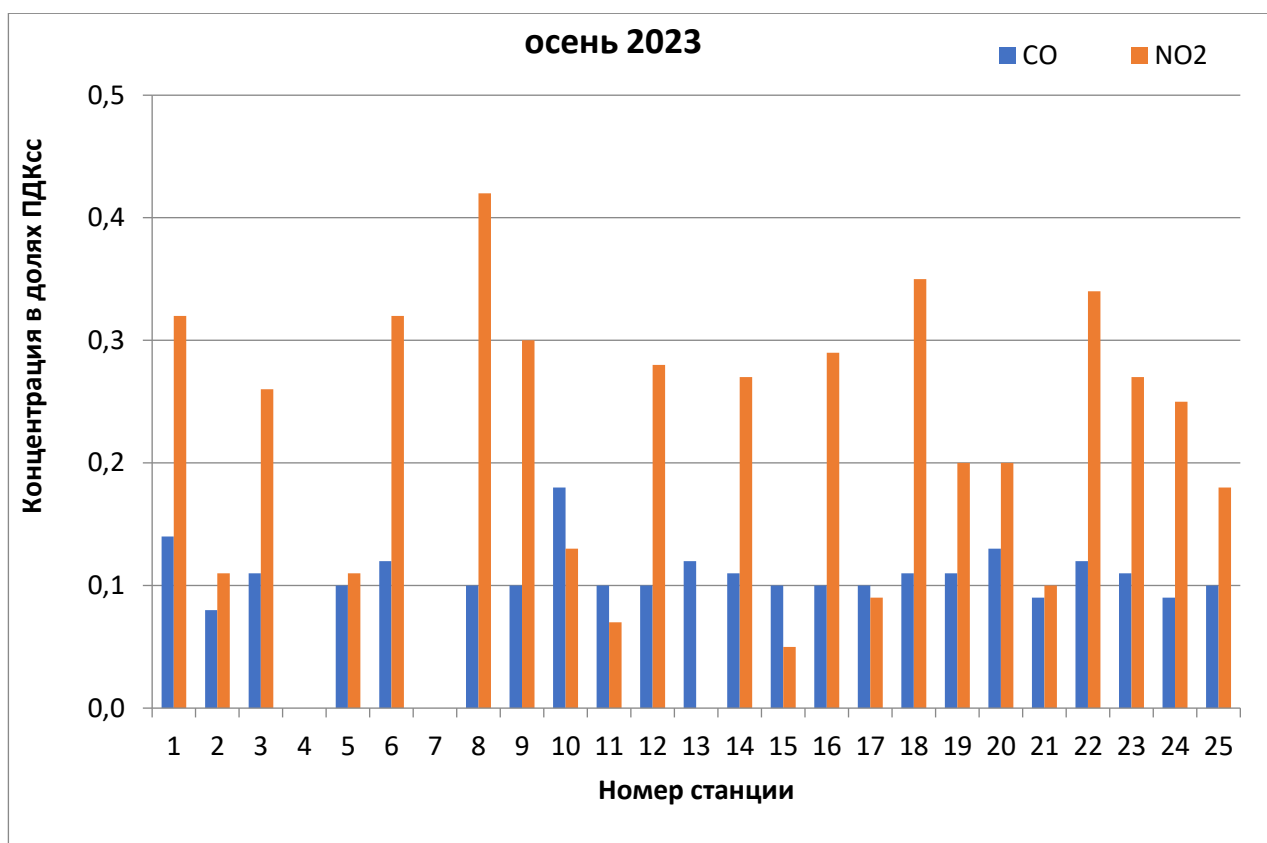


Рисунок 3.4 –Распределение концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂ за осень 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ CO, NO₂:

- максимальное значение CO было зафиксировано на станции №10 (Московский пр., дом 19) и составляло 0,18 ПДК_{сс};
- минимально значение CO было зафиксировано на станции №2 (г. Колпино, плотина через Комсомольский канал, в районе ул. Колпинская) и составляло 0,08 ПДК_{сс};
- максимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №8 (ул. Новосельковская, дом 23) и составляло 0,42 ПДК_{сс};
- минимальное значение NO₂ было зафиксировано на станции №15 (г. Кронштадт, ул. Ильмянинова, дом 4) и составляло 0,05 ПДК_{сс}.

Диаграммы распределения концентраций загрязняющих веществ PM_{2,5} и PM₁₀ построенные на основе данных таблиц № 3.1 – 3.4, представлены на рисунках №3.5 – 3.8.

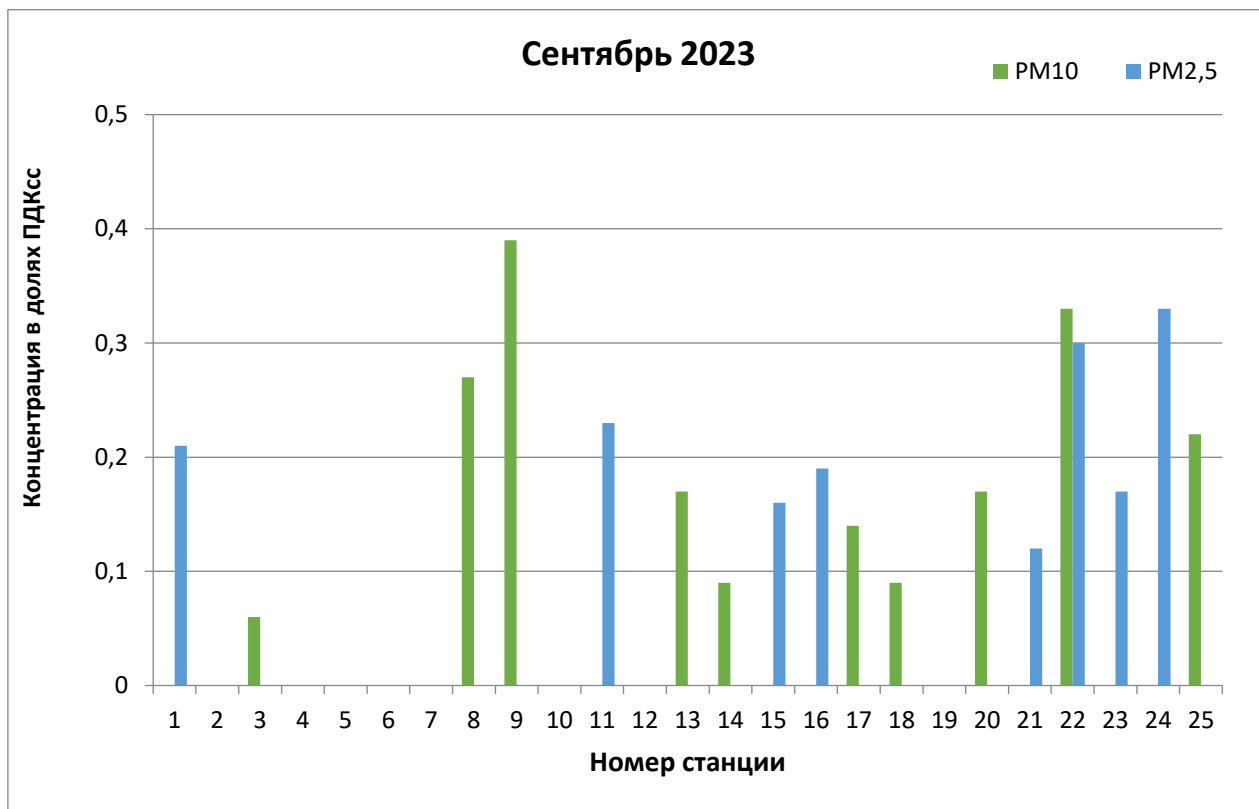


Рисунок 3.5 – Распределение концентраций загрязняющих веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} за сентябрь 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} :

- максимальное значение PM_{10} было зафиксировано на станции №9 (Малая Балканская ул., дом 54) и составляло 0,39 ПДК_{сс};
- минимально значение PM_{10} было зафиксировано на станции №3 (ул. Карбышева, дом 7) и составляло 0,06 ПДК_{сс};
- максимальное значение $PM_{2,5}$ было зафиксировано на станции №24 (В.О.Средний пр., дом 74) и составляло 0,33 ПДК_{сс};
- минимальное значение $PM_{2,5}$ было зафиксировано на станции №21 (г. Ломоносов, ул. Федюнинского, дом 3) и составляло 0,12 ПДК_{сс}.

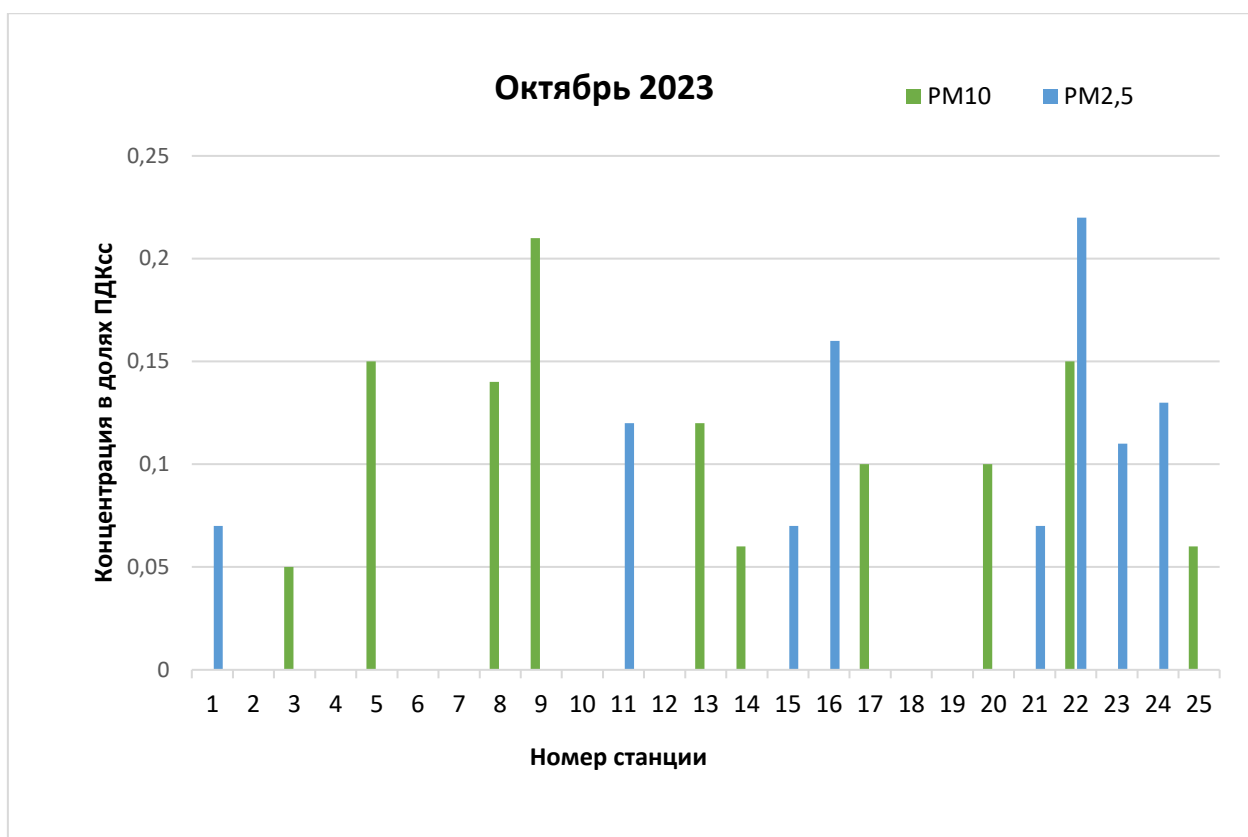


Рисунок 3.6 – Распределение концентраций загрязняющих веществ $PM_{2.5}$ и PM_{10} октябрь 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ $PM_{2.5}$ и PM_{10} :

- максимальное значение PM_{10} было зафиксировано на станции №9 (Малая Балканская ул., дом 54) и составляло 0,21 ПДК_{сс};
- минимально значение PM_{10} было зафиксировано на станции №3 (ул. Карбышева, дом 7) и составляло 0,05 ПДК_{сс};
- максимальное значение $PM_{2.5}$ было зафиксировано на станции №22 (Канонерский остров, дом 21, строение 1) и составляло 0,22 ПДК_{сс};
- минимальное значение $PM_{2.5}$ было зафиксировано на станции №1 (ул. Профессора Попова, дом 48) и составляло 0,07 ПДК_{сс}.

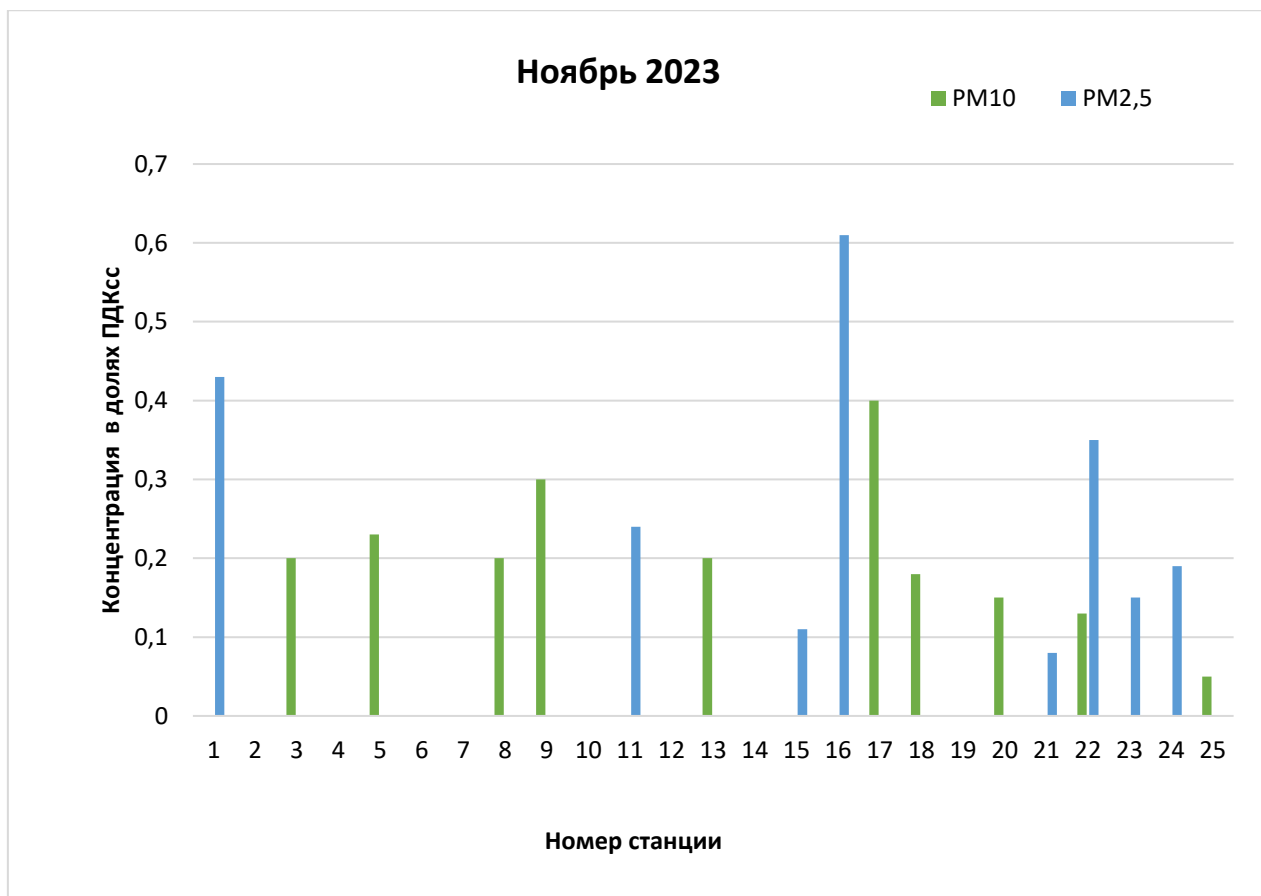


Рисунок 3.7 – Распределение концентраций загрязняющих веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} ноября 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} :

- максимальное значение PM_{10} было зафиксировано на станции №17 (г. Пушкин, Тиньков пер., дом 4) и составляло 0,40 ПДК_{сс};
- минимально значение PM_{10} было зафиксировано на станции №25 (пос. Металлострой, Железнодорожная ул., дом 13) и составляло 0,05 ПДК_{сс};
- максимальное значение $PM_{2,5}$ было зафиксировано на станции №16 (Московский пр., дом 139, корп. 2, литер А) и составляло 0,61 ПДК_{сс};
- минимальное значение $PM_{2,5}$ было зафиксировано на станции №21 (г. Ломоносов, ул. Федюнинского, дом 3) и составляло 0,08 ПДК_{сс}.

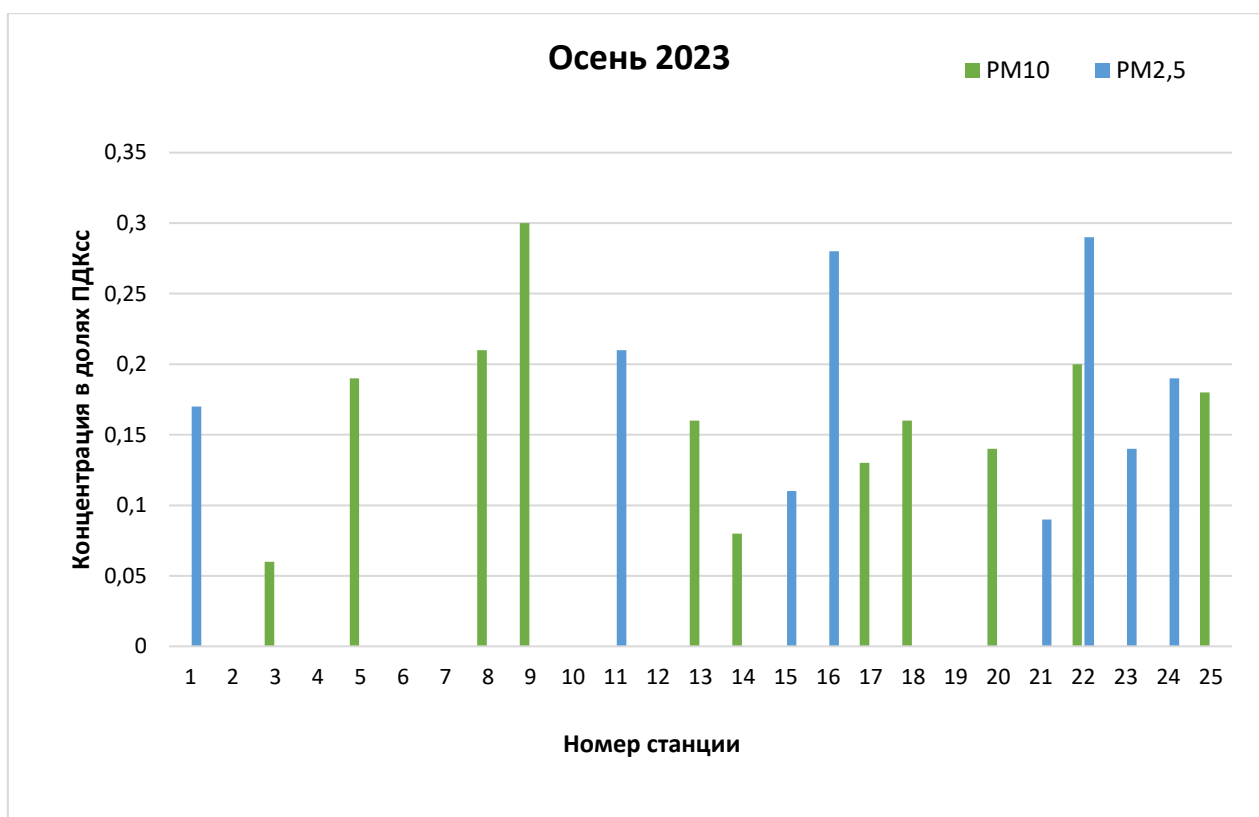


Рисунок 3.8 –Распределение концентраций загрязняющих веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} за осень 2023 года

Данные максимального и минимально распределения концентраций загрязняющих веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} :

- максимальное значение PM_{10} было зафиксировано на станции №9 (Малая Балканская ул., дом 54) и составляло 0,30 ПДК_{сс};
- минимально значение PM_{10} было зафиксировано на станции №3 (ул. Карбышева, дом 7) и составляло 0,06 ПДК_{сс};
- максимальное значение $PM_{2,5}$ было зафиксировано на станции №22 (Канонерский остров, дом 21, строение 1) и составляло 0,29 ПДК_{сс};
- минимальное значение $PM_{2,5}$ было зафиксировано на станции №21 (г. Ломоносов, ул. Федюнинского, дом 3) и составляло 0,09 ПДК_{сс}.

В табл. №3.5 представлены максимальное и минимальные значения концентраций загрязняющих веществ на станциях.

Таблица 3.5 – Максимальное и минимальные значения концентраций загрязняющих веществ

Месяц	Максимальное значение				Минимальное значение			
	CO	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
Сентябрь	№22	№8	№24	№9	№2	№15	№21	№3
Октябрь	№10	№8	№22	№9	№2	№11	№1	№3
Ноябрь	№10	№22	№16	№17	№24	№5	№21	№25

По данным табл 3.5, наиболее загрязненной станцией оказалась станция №22, расположенная по адресу Канонерский остров, дом 21, строение 1.

3.2 Построение полей пространственного распределения концентраций загрязняющих веществ

По исходным данным концентраций загрязняющих веществ со станций автоматического мониторинга за осенний период 2023 года были построены изолинии концентраций и 3D изображения распределения оксида углерода и диоксида азота.

Для построения и наилучшего анализа и визуальной восприимчивости был использован программный пакет «Surfer»

Метод кригинга в настоящее время является основополагающим инструментом в геостатистике, учитывающим как расстояния между точками, так и их пространственное взаимное расположение. Этот метод включает несколько этапов: сначала проводится статистический анализ исходных данных для выявления их основных характеристик. Затем оценивается пространственная структура данных с использованием корреляционной или структурной функции, что позволяет определить, как значения переменной изменяются в пространстве. В финале создается интерполирующая поверхность, которая позволяет делать точные прогнозы и оценки для не измеренных точек на основе пространственной взаимосвязанности данных. Этот подход позволяет достичь высокой точности и надежности при моделировании и анализе пространственных данных [16].

На рис. 3.9 – 3.14 представлены изолинии распределения СО и объёмная 3D модель этих распределений за осенний период 2023 года.

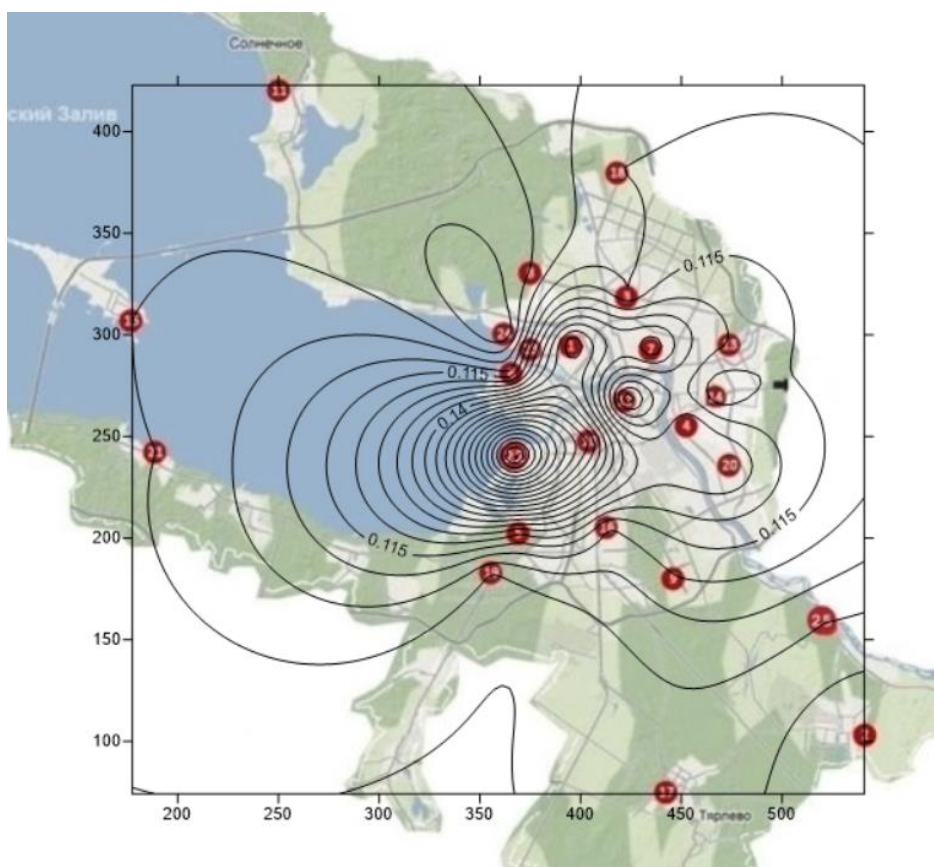


Рисунок 3.9 – Пространственное распределение СО за сентябрь 2023 года
изолинии

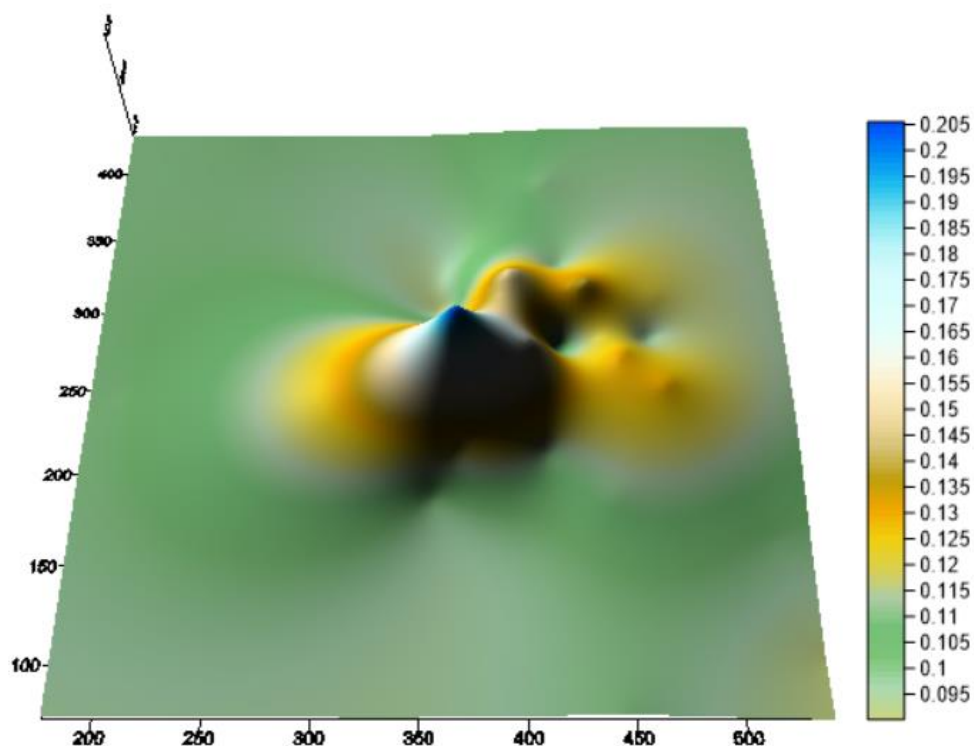


Рисунок 3.10 – Пространственное распределение СО за сентябрь 2023 года 3D изображение распределения

Анализируемые данные представлены в долях ПДК_{сс}, поэтому все значения, не превышающие 1 считаются допустимыми.

Из представленных графиков видно, что ни на одной станции концентрация СО не превысила норму. Концентрация СО в сентябре изменялась от 0,09 до 0,21 ПДК_{сс}. Выделить максимум можно на станции №22 расположенной по адресу Канонерский остров, дом 21, строение 1 в Кировском районе города, наиболее загрязненным оказался Кировский район, а наименее – Фрунзенский район.

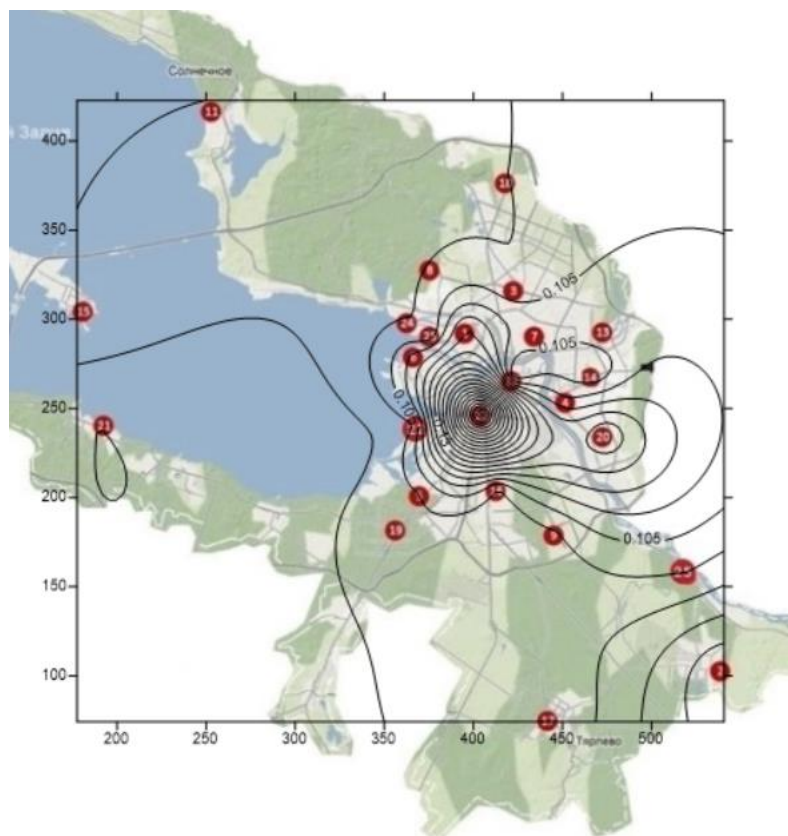


Рисунок 3.11 – Пространственное распределение СО за октябрь 2023 года
изолинии

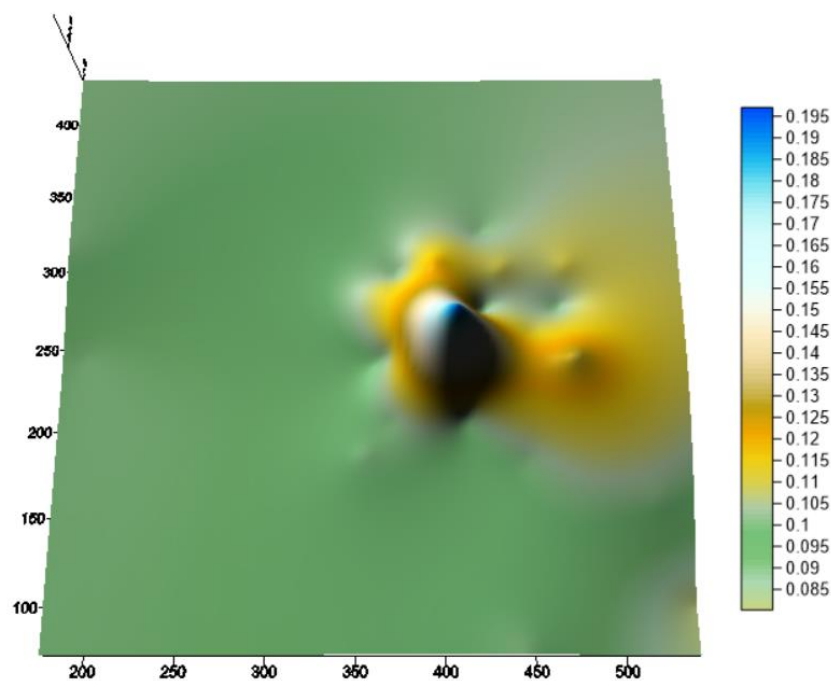


Рисунок 3.12 – Пространственное распределение СО за октябрь 2023 года 3D
изображение распределения

Из представленных графиков видно, что ни на одной станции концентрация СО не превысила норму. Концентрация СО в сентябре изменялась от 0,08 до 0,20 ПДК_{сс}. Выделить максимум можно на станции №10 расположенной по адресу Московский пр. д.19 в Адмиралтейском районе города, наиболее загрязненным оказался Адмиралтейский, а наименее – Красногвардейский район.

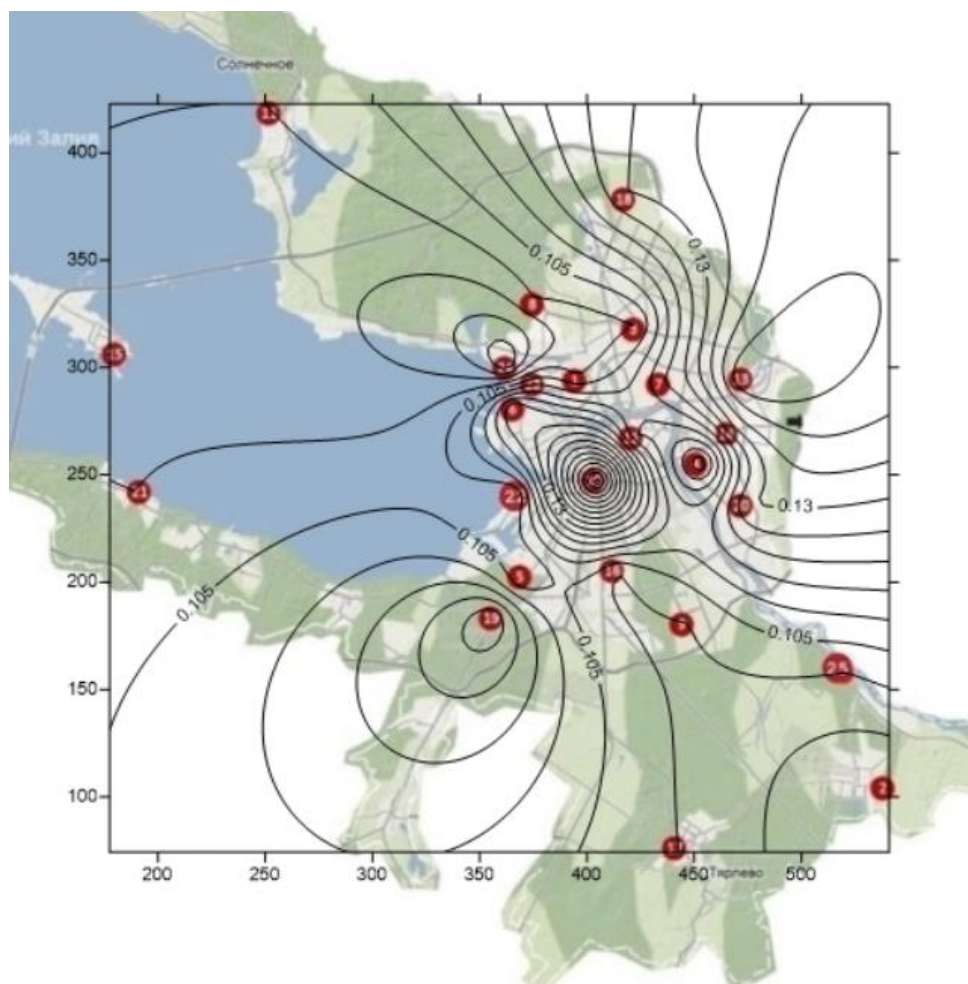


Рисунок 3.13 – Пространственное распределение СО за ноябрь 2023 года
изолинии

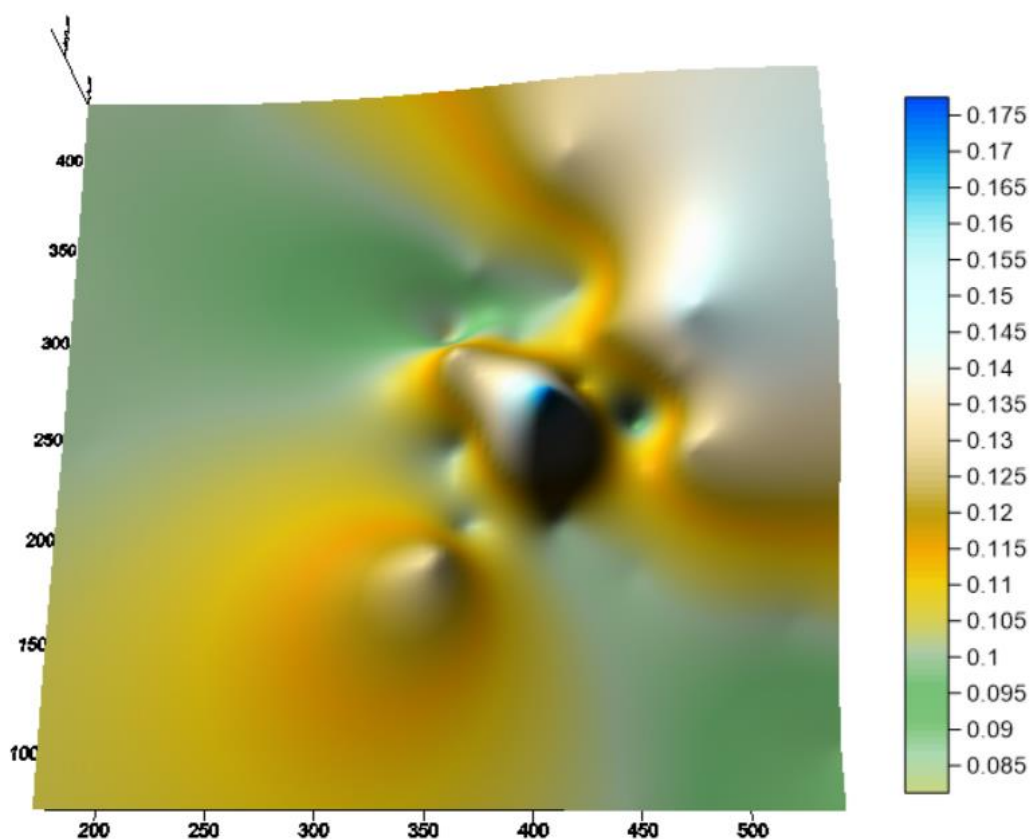


Рисунок 3.14 – Пространственное распределение СО за ноябрь 2023 года 3D изображение распределения

Из представленных графиков видно, что ни на одной станции концентрация СО не превысила норму. Концентрация СО в ноябре изменялась от 0,08 до 0,18 ПДК_{сс}. Выделить максимум можно на станции №10 расположенной по адресу Московский пр. д.19 в Адмиралтейском районе города, наиболее загрязненным оказался Центральный район, а наименее – Василеостровский район.

На рис. 3.15 – 3.20 представлены изолинии распределения NO₂ и объёмная 3D модель этих распределений за осенний период 2023 года.

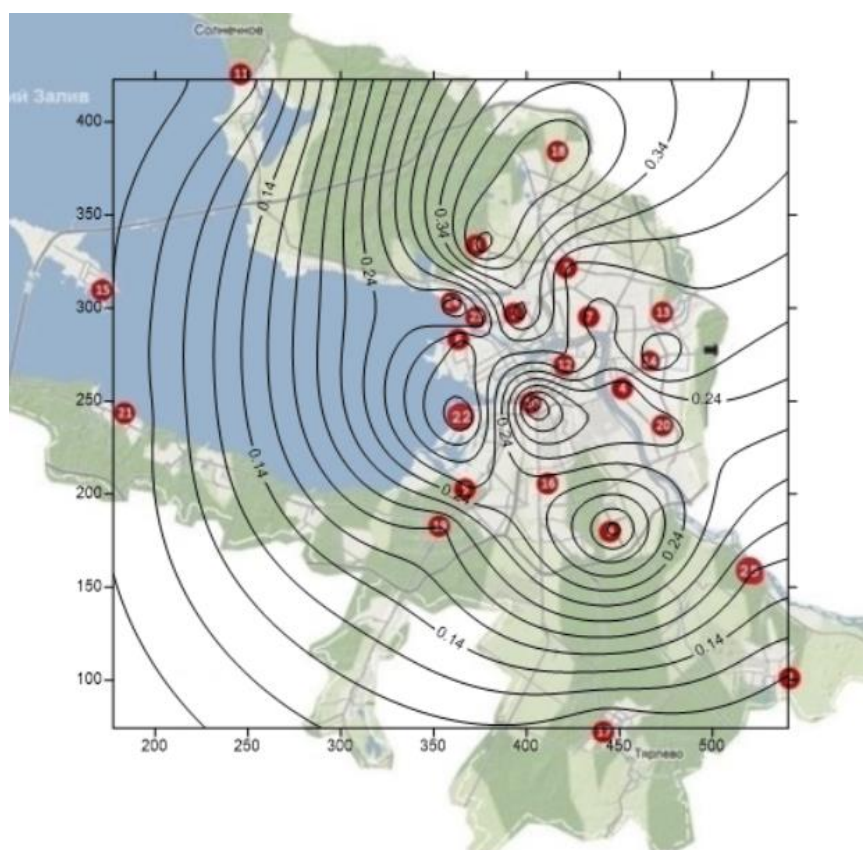


Рисунок 3.15 – Пространственное распределение NO_2 сентябрь 2023 года
изолинии

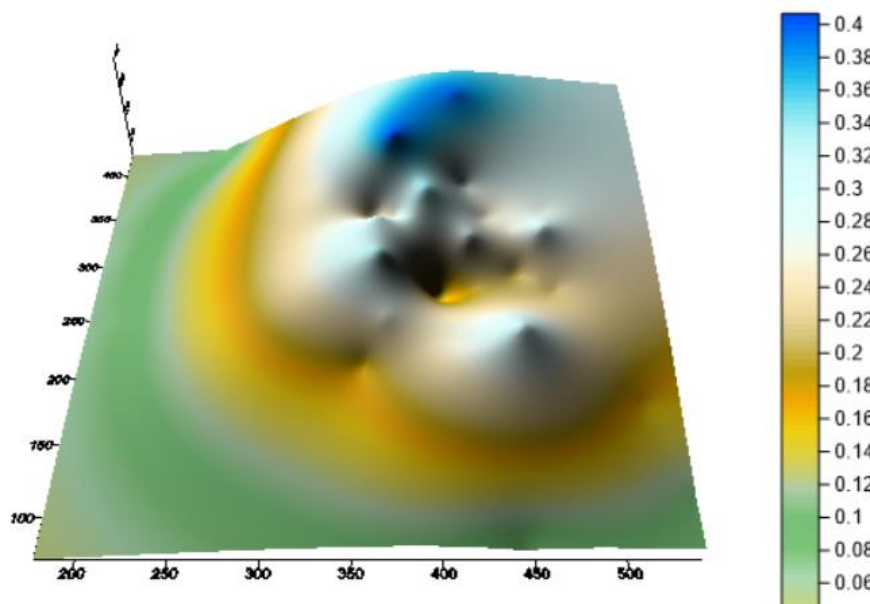


Рисунок 3.16 – Пространственное распределение NO_2 за сентябрь 2023 года 3D
изображение распределения

Из представленных графиков видно, что ни на одной станции концентрация NO_2 не превысила норму. Концентрация NO_2 в сентябре изменялась от 0,06 до 0,41 ПДК_{сс}. Выделить максимум можно на станции №8 расположенной по адресу Малая Балканская ул., дом 54 в Выборгском районе города, наиболее загрязненным оказался Приморский район, а наименее – Кировский район.

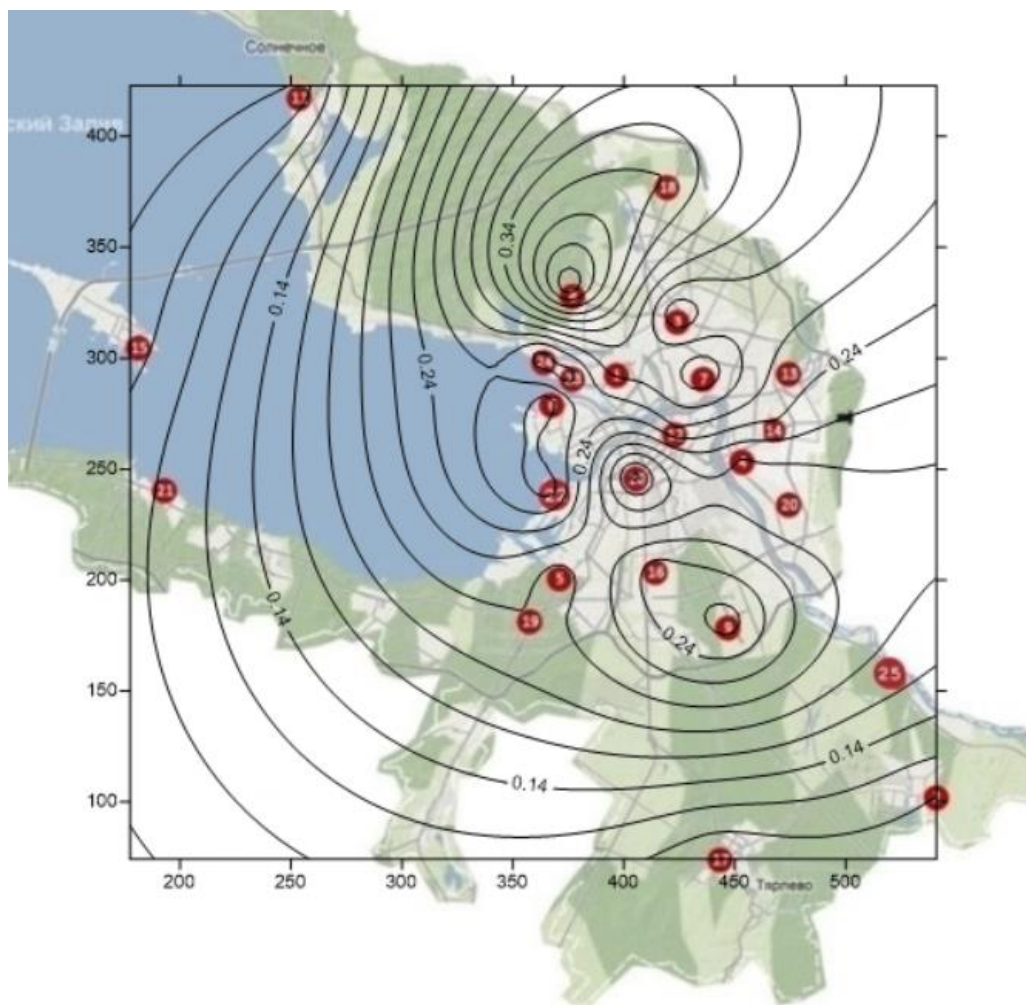


Рисунок 3.17 – Пространственное распределение NO_2 октябрь 2023 года
изолинии

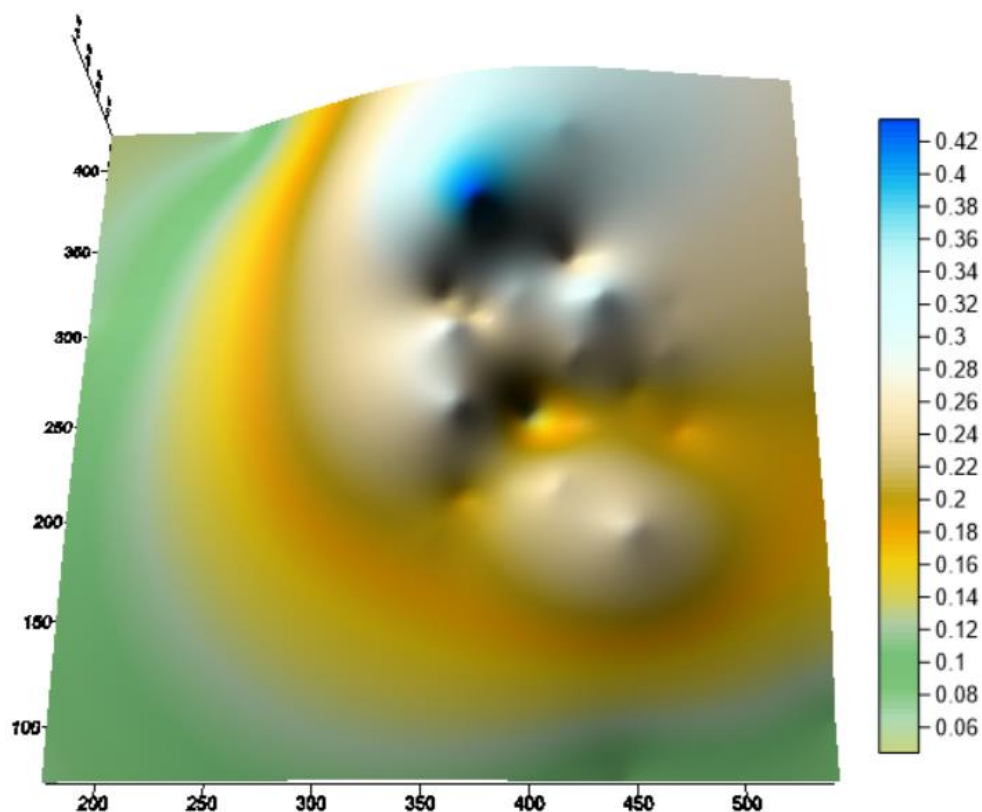


Рисунок 3.18 – Пространственное распределение NO_2 октябрь 2023 года 3D изображение распределения

Из представленных графиков видно, что ни на одной станции концентрация NO_2 не превысила норму. Концентрация NO_2 в октябре изменялась от 0,06 до 0,44 ПДК_{сс}. Выделить максимум можно на станции №8 расположенной по адресу Малая Балканская ул., дом 54 в Выборгском районе города, наиболее загрязненным оказался Приморский район, а наименее – Кировский район.

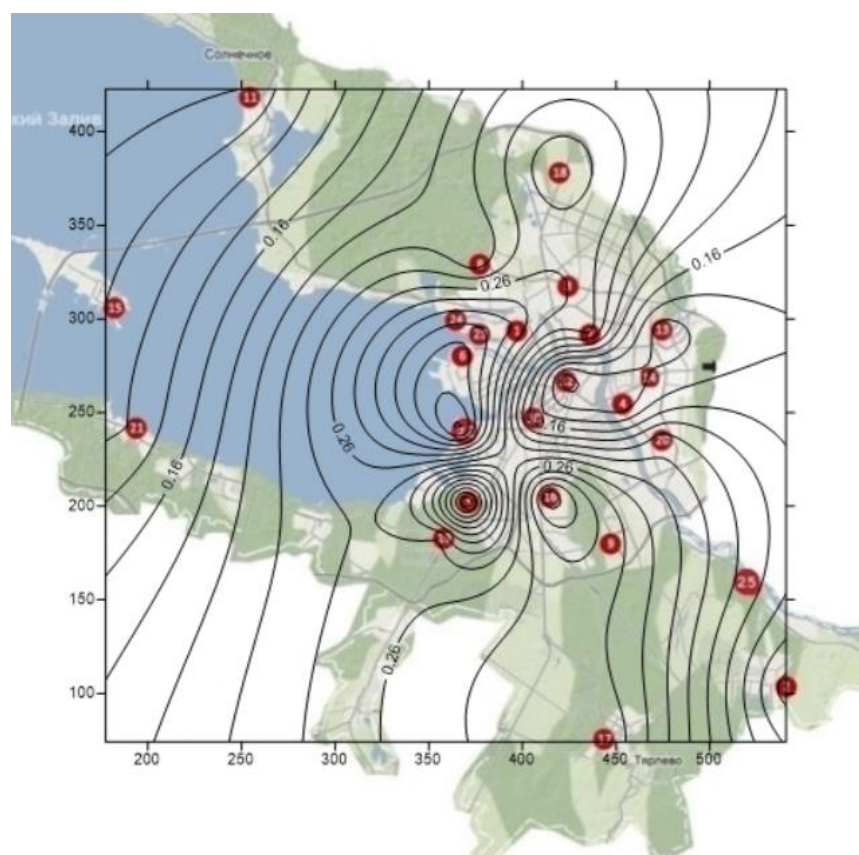


Рисунок 3.19 – Пространственное распределение NO₂ ноябрь 2023 года
изолинии

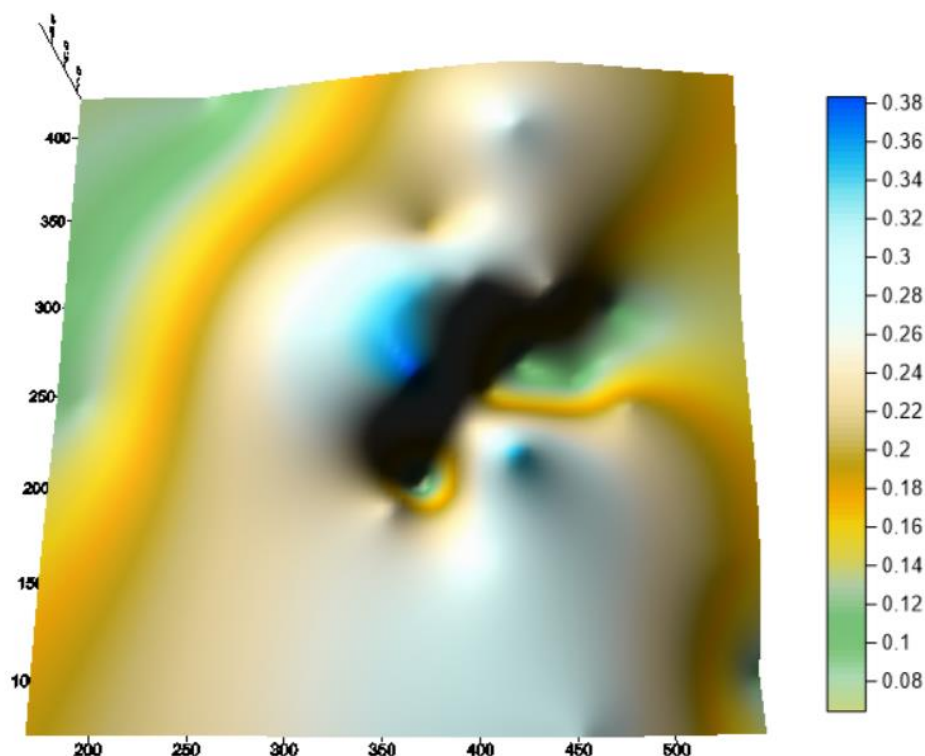


Рисунок 3.20- Пространственное распределение NO_2 ноябрь 2023 года 3D изображение распределения

Из представленных графиков видно, что ни на одной станции концентрация NO_2 не превысила норму. Концентрация NO_2 в ноябре изменялась от 0,05 до 0,39 ПДК_{сс}. Выделить максимум можно на станции №22 расположенной по адресу Канонерский остров, дом 21, строение 1 в Кировском районе города, наиболее загрязненным оказался Петроградский, а наименее – Кировский район.

3.3 Исследование взаимосвязи между распределением загрязняющих веществ в атмосфере и метеорологическими условиями

Чтобы установить связь между распределением загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами, необходимо учитывать как общие климатические особенности сезона, так и конкретные погодные условия в рассматриваемые месяцы. Для наилучшего анализа, обзор погоды будет

составлен, опираясь на данные, предоставляемые ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [17].

Климатологическая характеристика сезона: Осень обычно характеризуется продолжительными заморозками на почве и ухудшением погодных условий, вызванным активной циклонической деятельностью.

Для осеннего сезона типичны затяжные периоды ненастной и дождливой погоды. Количество осадков увеличивается в два-три раза, а продолжительность солнечного сияния уменьшается с 140 часов в сентябре до 25 часов в ноябре.

В сентябре и октябре нередко бывают периоды солнечной и теплой погоды, известные как «бабье лето», вызванные интенсивными волнами тепла. В годы с этим явлением осень оказывается теплой и относительно сухой. В годы с частыми вторжениями арктического воздуха холода наступают раньше. Иногда устойчивые морозы и снежный покров устанавливаются уже в конце октября.

Средняя многолетняя температура воздуха снижается с $+11^{\circ}\text{C}$ в сентябре до 0°C в ноябре.

Самая теплая осень за последние 30 лет была в 1974 году, когда средняя месячная температура всех осенних месяцев превышала норму на $2-3^{\circ}\text{C}$. Самая холодная осень была в 1993 году, когда средняя температура всех месяцев оказалась на $1-5^{\circ}\text{C}$ ниже нормы [18].

Обзор погоды сентябрь 2023 года: В начале сентября наблюдалась дождливая, но очень теплая погода. Ночные температуры колебались в пределах $12-17$ градусов, а дневные достигали $20-25$ градусов.

С 4 по 13 сентября Ленинградская область находилась под воздействием юго-восточных и южных периферий циклонических вихрей, проходящих через север Норвежского моря и Скандинавский полуостров к Баренцеву морю, а также под влиянием полей высокого давления от европейского антициклона. Осадки в этот период были редкостью. Исключение составила ночь на 6 сентября, когда прохождение холодного атмосферного фронта вызвало небольшие, местами умеренные дожди. Ночные температуры часто снижались до $3-8$ градусов, иногда оставаясь в пределах $9-14$ градусов. Дневные

температуры держались в пределах 17-22 градусов, а с 11 по 13 сентября поднялись до 20-25 градусов. 13 сентября в Санкт-Петербурге был побит температурный рекорд — воздух прогрелся до 24,6 градуса, превысив предыдущий максимум 1998 года.

В последующие дни циклоническая активность усилилась, что привело к увеличению количества осадков и снижению температурного фона. Ночные температуры снизились до 5-10 градусов, а дневные не превышали 13-18 градусов.

В третьей декаде сентября погоду в Ленинградской области определяли восточные, юго-восточные и южные периферии активных, глубоких циклонических вихрей, смещающихся через Норвежское море и Скандинавский полуостров к Баренцеву морю. Прохождение атмосферных фронтов сопровождалось дождями различной интенсивности и усилениями ветра. Только 25-27 сентября влияние гребня европейского антициклона принесло солнечную и сухую погоду. Ночные температуры варьировались от 10...15 градусов, при прояснениях местами снижались до 2-7 градусов. Дневные температуры держались в пределах 17-22 градусов, а 22-23 сентября достигали 20-25 градусов. В эти дни в Санкт-Петербурге были установлены новые температурные рекорды: 22 сентября — 22,6 градуса (предыдущий рекорд 1936 года), 23 сентября — 25,3 градуса (предыдущий рекорд 2020 года). Похожая ситуация наблюдалась 29 сентября, когда температура воздуха достигла 23,3 градуса (предыдущий рекорд 2020 года).

В целом за сентябрь среднемесячная температура воздуха в Ленинградской области оказалась на 3,2-4,0 градуса выше нормы. Месячная сумма осадков составила 60-102% от климатической нормы, на северо-западе области — 115-146% от нормы.

В Санкт-Петербурге среднемесячная температура составила 16,4 градуса, что на 4,0 градуса выше нормы. Сентябрь 2023 года стал самым теплым за весь период наблюдений с 1881 года, превзойдя рекорд 1938 года со средней температурой 14,9 градуса. Месячная сумма осадков составила 62,6 мм (109% от

нормы), а суммарная продолжительность солнечного сияния достигла 174 часов (129% от нормы).

Обзор погоды октябрь 2023 года: В первой половине октября погодные условия в Ленинградской области определялись воздействием циклонических вихрей, которые последовательно перемещались из Исландского центра действия атмосферного давления через Норвежское море и Скандинавию на европейскую территорию России. Эти циклоны сопровождались умеренными и сильными дождями, а также усилениями ветра. В связи с риском повышения уровня воды в устье реки Невы выше критических значений, Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений был задействован 4, 12 и 14-15 октября. В первую пятидневку октября температурный фон превышал климатические нормы на 2-4 градуса, ночные температуры составляли +5-(+10) градусов, а дневные +11-(+16) градусов. Во второй пятидневке температурный фон снизился на 2-5 градусов ниже нормы, ночные температуры варьировались от 0 до +5 градусов, а в отдельные ночи при прояснениях падали до -1-(-5) градусов. Дневные температуры были в пределах +3-(+8) градусов, с небольшим повышением 7 октября. В третьей пятидневке месяца температурный фон снова поднялся: ночные температуры составляли +3-(+8) градусов, дневные +8-(+13) градусов [19].

Во второй половине октября в Ленинградской области погодные условия формировались под чередующимся влиянием антициклонов, возникавших в гребнях Арктического антициклона, и циклонических вихрей, траектории которых проходили южнее области. Это привело к преобладанию облачной с прояснениями погоды с периодическими осадками, преимущественно в виде снега и мокрого снега, и температурным фоном на 2-5 градусов ниже климатической нормы. В первые дни второй половины месяца ночные температуры были в пределах 0-(+5) градусов, дневные +5-(+10) градусов. С 18 октября ночные температуры варьировались от 0 до -5 градусов, а в отдельные ночи при прояснениях понижались до -6-(-11) градусов. Дневные температуры

находились в пределах $+1-(+5)$ градусов, а в последней пятидневке месяца не превышали $-2-(+3)$ градусов.

За месяц в целом, среднемесячная температура воздуха по станциям Ленинградской области отклонилась на $-0,6-(-1,7)$ градуса от нормы. Количество выпавших осадков распределилось следующим образом: на 9 станциях выпало 126-188% от климатической нормы, а на 8 станциях — 197-240% от нормы.

В Санкт-Петербурге, по данным ОГМС Санкт-Петербург, среднемесячная температура воздуха составила $+5,0$ градусов, что на $1,2$ градуса ниже нормы. Месячная сумма осадков достигла $128,9$ мм, что составляет 203% от нормы. Продолжительность солнечного сияния за месяц составила $63,1$ часа, что соответствует 102% от нормы [20].

Обзор погоды ноябрь 2023 года: В первой половине ноября в Ленинградской области преобладали циклонические процессы, которые привели к облачной погоде с частыми осадками, преимущественно в виде дождя. Температурный фон в основном превышал климатические нормы. Так, 1 ноября температура воздуха в дневные часы поднялась до $+8-(+12)$ градусов, а в Санкт-Петербурге (по данным ОГМС Санкт-Петербург, расположенной в Петроградском районе города) был зафиксирован рекорд дневной температуры за весь период инструментальных наблюдений, достигнув $+11,7$ градуса (предыдущий рекорд $+10,6$ градуса был отмечен в 1934 году). В дальнейшем ночные температуры колебались между $+1-(+6)$ градусами, а в отдельные ночи с прояснениями снижались до $0-(-3)$ градусов. Дневные температуры находились в пределах $+3-(+8)$ градусов. 13-14 ноября при затоке холода в тылу очередного циклона температура понизилась до $0-(-2)$ градусов, что привело к переходу осадков из дождя в мокрый снег и снег.

Во второй половине месяца погодные условия формировались под влиянием антициклонов, связанных со Скандинавскими антициклонами. С 15 по 22 ноября наблюдалась облачная с прояснениями погода, в отдельных районах выпадал небольшой снег. Температурный фон понизился на 3-5 градусов ниже климатической нормы, ночные температуры составляли $-5-(-10)$ градусов, а при

прояснениях местами опускались до -12-(-17) градусов. Дневные температуры находились в пределах -2-(-7) градусов. Затем циклоническая активность снова усилилась, что привело к облачной погоде с частыми снегопадами. 27-28 ноября сильный южный циклон принес сильный снегопад, метель и усиление северо-восточного ветра до 15-18 м/с в порывах. Температурный фон до конца месяца оставался ниже климатической нормы.

В целом за месяц аномалия среднемесячной температуры воздуха по станциям Ленинградской области составила 0-(-1,6) градуса. Количество осадков в большинстве районов области составило 106-155% от климатической нормы, местами на юго-западе выпало 80-91% осадков, а на севере области местами выпало 173-216% от климатической нормы.

В Санкт-Петербурге по данным ОГМС Санкт-Петербург, среднемесячная температура воздуха составила +0,1 градуса, что на 0,8 градуса ниже климатической нормы. Месячная сумма осадков составила 87,1 мм, или 155% от климатической нормы. Суммарная продолжительность солнечного сияния за месяц составила 4,2 часа, что соответствует 18,3% от климатической нормы ноября.

Подводя итоги, самым загрязнённым месяцем осени в Ленинградской области в 2023 году был октябрь. В первую половину октября погодные условия определялись циклоническими вихрями, которые последовательно перемещались из Исландского центра действия атмосферного давления через Норвежское море и Скандинавию на европейскую территорию России. Эти циклоны сопровождалась умеренными и сильными дождями, а также усилениями ветра.

В связи с этим, в октябре наблюдалось следующее:

- высокая циклонная активность: обильные дожди и сильные ветра, что способствует увеличению загрязнения атмосферы за счёт взвешивания и переноса загрязняющих веществ [21];

- высокий уровень осадков: осадки в октябре составили 126-240% от климатической нормы на различных станциях. Это приводит к большому

количеству стока, который смывает загрязняющие вещества с поверхностей и увеличивает их концентрацию в водоёмах и почве;

– снижение солнечной активности: общее количество солнечного сияния в октябре составило 63,1 часа, что составляет 102% от нормы, но гораздо ниже по сравнению с сентябрем. Это уменьшает естественные процессы очистки атмосферы за счёт фотохимических реакций.

Все эти факторы способствуют увеличению уровня загрязнения воздуха и воды, что делает октябрь наиболее загрязнённым месяцем осени в Ленинградской области в 2023 году.

Заключение

Проблема загрязнения атмосферы в мегаполисах, таких как Санкт-Петербург, является одной из самых актуальных экологических проблем современности. Проведенное исследование позволило выявить ключевые аспекты распределения и динамики загрязняющих веществ в городской среде в условиях изменяющихся метеорологических условий.

Анализ данных показал, что концентрация загрязняющих веществ варьируется в зависимости от района города. Наибольшие концентрации наблюдались в центральных и промышленных районах, что связано с высокой плотностью автомобильного движения и наличием промышленных предприятий.

Осенний период характеризуется частыми изменениями погодных условий, что оказывает значительное влияние на распределение загрязняющих веществ. В периоды с активной циклонной деятельностью и высоким уровнем осадков наблюдалось снижение концентраций загрязняющих веществ за счет их вымывания из атмосферы. В то же время периоды антициклонов с низким уровнем ветра и осадков способствовали накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы [23].

В течение осеннего периода 2023 года наблюдались значительные сезонные колебания концентраций загрязняющих веществ. Сентябрь оказался наиболее благоприятным месяцем с точки зрения экологической обстановки, что связано с теплой и сухой погодой. Октябрь и ноябрь характеризовались более высоким уровнем загрязнений, особенно в периоды антициклонов и резких похолоданий.

Проведенное исследование подтвердило значимость комплексного подхода к изучению пространственного распределения загрязняющих веществ в городской среде. Полученные данные могут служить основой для разработки эффективных экологических программ и мер по изменению качества атмосферного воздуха в лучшую сторону в Санкт-Петербурге. Внедрение

предложенных рекомендаций позволит снизить негативное воздействие загрязняющих веществ на здоровье населения и улучшить экологическую обстановку в городе.

Настоящее исследование вносит вклад в понимание экологических проблем мегаполисов и подчеркивает необходимость продолжения мониторинга и разработки мер по охране окружающей среды в условиях изменяющегося климата.

Список литературы

1. Статья Атмосфера- [Электронный ресурс] режим доступа: <https://old.bigenc.ru/physics/text/1837660> - Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л., 1980; Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. 2-е изд. Л., 1984; Будыко М. И., Ронов А. Б., Яншин А. Л. История атмосферы. Л., 1985; Хргиан А. Х. Физика атмосферы. М., 1986; Атмосфера: Справочник. Л., 1991; Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология. 5-е изд. М., 2001. (дата обращения 15.04.2023)
2. ГОСТ 17.2.1.01-76 Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу [электронный ресурс] режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/33909/> (дата обращения 21.04.2023)
3. Федеральный закон от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ об охране атмосферного воздуха [электронный ресурс] режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/13789> (дата обращения 24.04.2023)
4. Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. - М.: Изд-во стандартов, 1992
5. Методы мониторинга атмосферного воздуха [электронный ресурс] режим доступа: <https://ecoportal.su/public/atmosphere/view/495.html> (дата обращения 29.04.2023)
6. Физика Земли: учебное пособие / Швец А. И.; Нац. открытый ин-т, г. Санкт-Петербург. - Санкт-Петербург: Информационно-консалтинговый центр, 2015.
7. Физико-химические методы анализа для исследования различных сфер О.А. Давыдова Е.С. Климов, Ульяновск УлГТУ 2014
8. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы - Л.: Гидрометиздат. – 1984
9. Обзор портативных газоанализаторов для измерения концентрации горючих и токсичных газов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/msw/articles/716458/> (дата обращения 12.06.2023)

10. Системный анализ, управление и обработка информации. Обзор станций автоматического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха В.М. Панарин, А.А. Маслова, К.В. Гришаков, О.В. Гришакова, Д.А. Логунов
11. Хабутдинов Ю.Г., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Учение об атмосфере: учебное пособие /. – Казань: Издание Казанского государственного университета, 2010
12. Гидрометцентр России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения 22.04.2023)
13. Морозов, А. Е. Метеорология и климатология: практикум / А. Е. Морозов, Н. И. Стародубцева; Минобрнауки России, Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2018.
14. Территориальная система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга И.А. Серебрицкий, Д.Т. Азёмов, Н.А. Жигунова, Е.С. Бородин [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ecopeterburg.ru/2024/01/19/территориальная-система-мониторинг/> (дата обращения 20.05.2023)
15. Обзор станций автоматического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха В.М. Панарин, А.А. Маслова, К.В. Гришаков, О.В. Гришакова, Д.А. Логунов
16. Настич Н.В. Основные метеорологические приборы. – Евразийский научный журнал – 2016. - 256-258 с.
17. Стернзат М. С. -Метеорологические приборы и наблюдения. – Гидрометеиздат – 1968.
18. Соколов В.А. Автоматические станции контроля загрязнения атмосферного воздуха. Газоанализаторы и пылемеры. - Л.: Март, 2007 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.rmo.ru/ru/nmoborudovanie/nmoborudovanie/2007-1/75_78_ОТА_01_2007.pdf (дата обращения 27.05.23).
19. Экологический мониторинг: учебное пособие/ Р.Н. Апкин, Е.А. Минакова. – 2-е изд., испр. и доп. – Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2015

20. С.В. Крюкова, Т.Е. Симакина АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА Лабораторный практикум РГГМУ Санкт-Петербург 2018

21. Официальный портал ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru> (дата обращения 3.06.23).

22. Лит.: Холтон Дж. Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы. Л., 1979; Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л., 1987; Тарасенко Д. А. Структура и циркуляция стратосферы и мезосферы северного полушария. Л., 1988; Атмосфера: Справочник. Л., 1991; Шефов Н. Н., Семенов А. И., Хомич В. Ю. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики. М., 2006.

23. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения 17.06.2023).